

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

**ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ
И ДИАГНОСТИКИ**

*Материалы
III Международной научно-практической
конференции*

Часть 1

*20 сентября 2002 года
г. Новочеркасск*

Новочеркасск 2002

УДК 681.518.54
ББК 30.82
Т 33

Организаторы конференции:

Министерство образования РФ;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
В.Н. Чернов (РФ), профессор

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора

Т 33 Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики:
Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск,
20 сент. 2002 г.: В 4 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). –
Новочеркасск: ООО НПО «ТЕМП», 2002. – Ч. 1. – 56 с.

ISBN 5-94633-021-7

Материалы конференции вошли в сборник из четырех частей. Первая часть включает доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и контроля параметров магнитных, полупроводниковых и диэлектрических материалов; жидких многофазных сред; ультразвуковым методам и средствам измерений и контроля.

УДК 681.518.54

ISBN 5-94633-021-7

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2002
© Авторы, 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В сентябре 2002 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила III Международная научно-практическая конференция «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Орла, Ульяновска, Иркутска, Челябинска, Мурманской области, Омска, Златоуста, Тольятти, Владимира, Волгодонска, Новочеркасска, Шахт и Каменска.

На конференцию представлено 57 докладов, которые вошли в сборник, состоящий из четырех частей. Каждая часть содержит материалы по нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и контроля параметров магнитных, полупроводниковых и диэлектрических материалов; жидких многофазных сред; ультразвуковым методам и средствам измерений и контроля.

Во вторую часть вошли статьи о теории, методах и средствах измерений и контроля концентраций, химического и структурного состава веществ и материалов; сил, вибрации и геометрических размеров; теории, методах и средствах радиоизмерений; цифровых методах и средствах измерений и обработки измерительной информации.

Третья часть содержит доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и диагностики в медицине и биологии; вопросам метрологического обеспечения измерений, контроля и диагностики; теории, методам и средствам диагностики сложных технических систем; интеллектуальным средствам измерения; методам оценки состояния и перспектив развития предприятий, отраслей, комплексов.

В четвертую часть вошли доклады, освещающие вопросы экономической диагностики производственных и социальных систем.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

ПРОЦЕССОРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

М.В. Ланкин

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассматриваются принципы построения процессорных измерительных средств испытания постоянных магнитов ПриС-ИПМ и алгоритмы преобразования измерительной информации. Получено разложение полной, методической и инструментальной погрешностей на составляющие, что создает предпосылки для исследования зависимости значения погрешностей от различных факторов.

Главной особенностью процессорных измерительных средств (ПриС) [1] является то, что в них программируемая вычислительная мощность входит в состав измерительной цепи и используется не только для автоматизации управления функционированием и обработки результатов измерения, но, и это главное, для реализации части измерительной процедуры в числовой форме на программной основе.

Применение ПриС к решению задач испытания постоянных магнитов (ПМ) на соответствие заданным магнитным свойствам существенно меняет как функциональные и предельные возможности магнитоизмерительных средств, так и методы их анализа и синтеза.

При этом можно выделить три аспекта проблемы: 1) системотехнический; 2) метрологический; 3) специфический. К первому относятся обеспечение совместимости аналоговых и процессорных блоков, выбор и применение стандартных интерфейсов, развитие системного программного обеспечения и разработка принципов системной унификации основных компонентов ПриС. Здесь имеется основательный задел в виде развитого технического и программно-алгоритмического обеспечения. Интенсивность разработки системотехнических основ ПриС в значительной степени обусловлена возможностью использовать опыт, накопленный в области создания ЭВМ, УВМ и АСУ.

Ко второму кругу проблем следует отнести обеспечение соответствия аппаратных и программных измерительных средств, рациональное распределение функций между аналоговой и вычислительной частями измерительной цепи, развитие метрологии ПриС и их метрологического обеспечения. Метрологические аспекты создания и функционирования ПриС проработаны хуже, чем системотехнические. Это касается как создания измерительного алгоритмического и программного обеспечения ПриС, так и разработки методов количественного анализа результатов измерения, получаемых с помощью ПриС. Настоящим прорывом в данном направлении стала монография Э.И. Цветкова [1], посвященная разработке методологии формализованного описания измерительных процедур, реализуемых ПриС. Это, в свою очередь, составляет основу решения других важных проблем метрологии ПриС:

1) развитие методов количественного анализа характеристик погрешностей результатов измерения, получаемых с помощью ПриИС (на аналитической основе и с использованием имитационного моделирования);

2) формирование прикладного измерительного алгоритмического обеспечения ПриИС в виде эффективных, адекватных, адаптивных и других видов алгоритмов измерений, ориентированных на повышение метрологического качества результатов измерения за счет целенаправленной коррекции погрешностей, установления максимального соответствия между существом измерительной задачи и содержанием измерительной процедуры, введения перестраиваемости при функционировании [1];

3) разработка принципов повышения уровня интеллекта ПриИС с обеспечением возможности реализации потенциала, содержащегося в априорной и текущей информации о свойствах объекта, условиях измерений, предъявляемых требованиях и характере внешних связей измерительного средства.

Если первые два круга проблем носят общеизмеренческий характер, то третий – включает проработку частных системотехнических и метрологических вопросов, вытекающих из существа измерительной задачи, решаемой при помощи ПриИС. Так при построении ПриИС-ИПМ необходима разработка их типовых специализированных структур, алгоритмов управления процессом перемагничивания ПМ и алгоритмов преобразования измерительной информации, выполняемых как в аналоговой, так и в цифровой (числовой) форме.

Наиболее информативной характеристикой магнитных свойств ПМ является кривая размагничивания магнитотвердого материала (МТМ) $B(H)$ (участок предельной статической петли гистерезиса, находящийся во втором квадранте). Значения большинства параметров, регламентированных нормативными материалами [2, 3], могут быть определены при условии, что известны кривая размагничивания МТМ, из которого изготовлен ПМ, и параметры рабочей магнитной системы. Однако об измерении координат точек кривой размагничивания МТМ можно говорить только при испытании образцов, изготовленных с соблюдением условий, определенных ГОСТом [4]. Это вызвано тем, что при получении кривой размагничивания на ее вид оказывают влияние форма и размеры ПМ, конфигурация измерительной магнитной системы, режим и направление перемагничивания, тип, расположение и габариты первичных измерительных преобразователей и т.п.

Ранее нами был предложен подход к построению моделей изменения кривой размагничивания ПМ $B(H)$, позволяющий прогнозировать изменение этой характеристики в зависимости от условий эксплуатации ПМ и от внешних, например, технологических воздействий [5]. В основу подхода к построению таких моделей положена тензорная методология Г.Крона [6], а реализована она может в ПриИС–ИПМ, где равноценными составляющими алгоритма функционирования являются и измерение, и преобразование (расчет) по заданному алгоритму, выполненное или в аналоговой, или в цифровой форме.

В соответствии с тензорной методологией нами в [5] вводится понятие тензора магнитных свойств (ТМС). Точки кривой размагничивания ПМ являются проекциями ТМС в ту или иную систему координат, определяемую условиями работы или испытания ПМ.

В матричной форме формула преобразования проекций ТМС имеет вид

$$Y = AX, \quad (1)$$

где X и Y – векторы (проекции ТМС), определяющие параметры ПМ в различных системах координат; A – матрица преобразования проекций ТМС.

Проекции ТМС X и Y могут быть представлены парами координат точек кривой размагничивания: индукция–напряженность (B, H) (намагниченность–напряженность (M, H)) или группой из n значений напряженности H_j при фиксированных значениях индукции или намагниченности.

На рис. 1а) изображена типовая структура измерительной цепи ПриС–ИПМ используемая при представлении проекции ТМС парами координат точек кривой размагничивания.

На рис. 1б) и рис. 1в) изображены типовые структуры измерительной цепи ПриС–ИПМ, используемые при представлении проекции ТМС группой из n значений напряженности H_j при фиксированных значениях индукции или намагниченности.

На этих рисунках: ПМ – испытуемый постоянный магнит; ИИ, ИН – измерители индукции (намагниченности) и напряженности; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; Ком – коммутатор; Пр – процессор; БС – аналоговый блок сравнения; БУ – аналоговый блок уставок. Отличие между ними состоит в том, что в первом случае фиксированные значения индукции или намагниченности хранятся в аналоговой форме, а во втором – в цифровой.

Структурная схема измерительной цепи ПриС–ИПМ должна содержать входы для измерения двух физических величин: напряженности и индукции (или намагниченности). В связи с чем ПриС–ИПМ относятся к многоканальным и, как правило, строят как мультиплексорные, т.е. содержащие несколько измерительных преобразователей и один аналого-цифровой преобразователь с многоканальным коммутатором на входе.

В ПриС–ИПМ рационально применять непрерывно-ступенчатый метод перемагничивания [7, 8], при котором внешнее магнитное поле изменяется ступенчато. Амплитуда ступеней определяется требуемой погрешностью аппроксимации измеряемой характеристики $B(H)$, а длительность – временем затухания процессов перемагничивания (зависит от магнитной вязкости и проводимости МТМ). Считывание информации производится после прекращения процесса перемагничивания, что позволяет не применять аналоговые устройства выборки-хранения, фиксирующие измеряемые напряжения двух каналов на момент опроса для исключения погрешности, возникающей вследствие несинхронного (поочередного) опроса измеряемых величин.

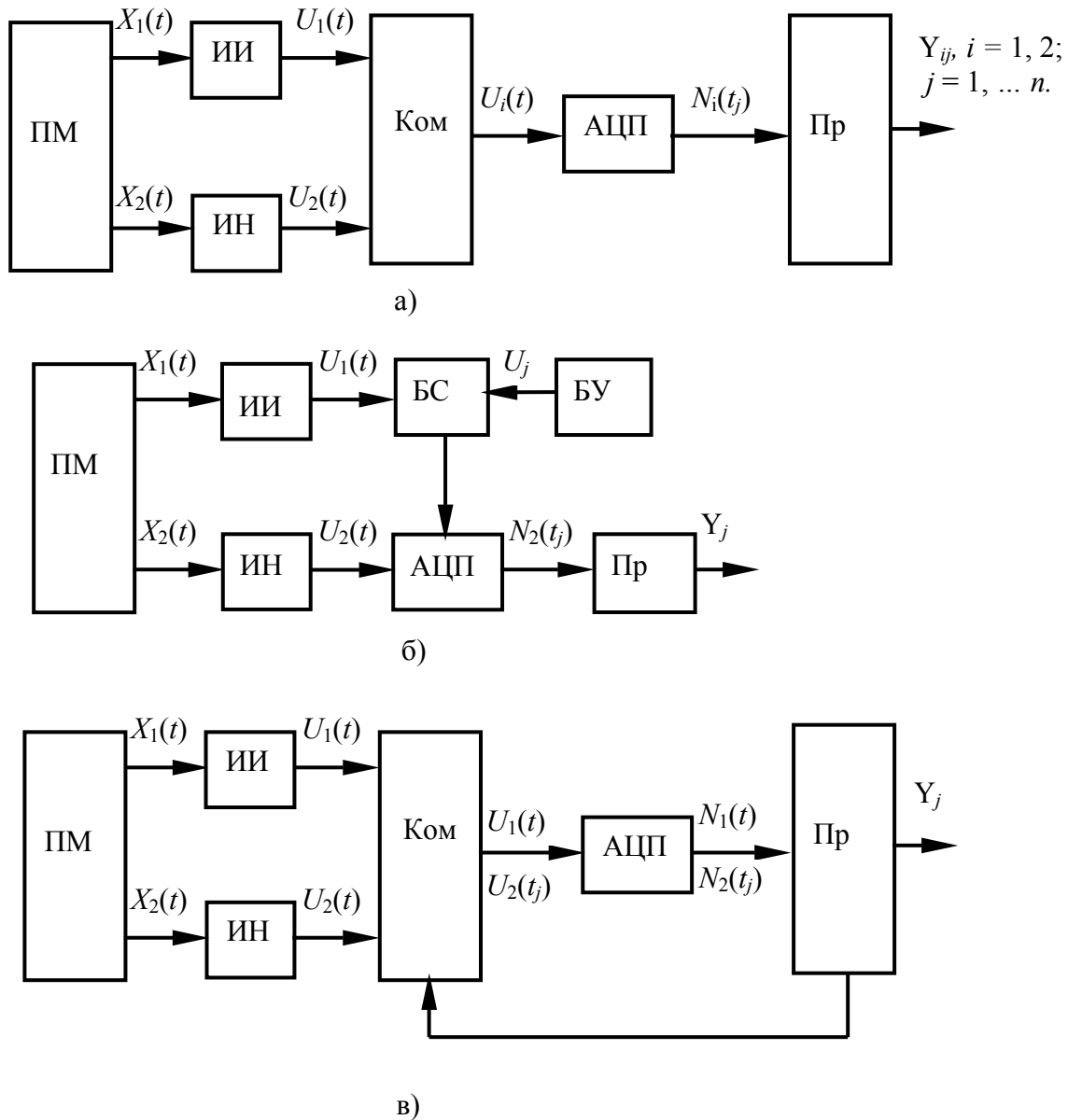


Рис.1. Типовая структура измерительной цепи ПрИС–ИПМ

Рассмотрим работу измерительной цепи ПрИС–ИПМ, изображенную на рис. 1а). В ходе перемагничивания ПМ измерительные преобразователи индукции и напряженности трансформируют информацию о входных воздействиях $X_1(t)=B(t)$ и $X_2(t)=H(t)$ в электрические сигналы:

$$U_1(t) = R_{11}X_1(t); \quad (2)$$

$$U_2(t) = R_{12}X_2(t), \quad (3)$$

где R_{1i} – оператор измерительных преобразований, выполняемых в аналоговой форме по i – му измерительному каналу.

Вид преобразования, реализуемого оператором R_{1i} , определяется типом измерительного преобразователя. В ПрИС–ИПМ возможен один из трех вариантов:

1. Нормирующий измерительный усилитель, работающий в паре с такими первичными измерительными преобразователями как датчик Холла или ферромодуляционный измерительный преобразователь. В этом случае

$$R_{11} = k_{\text{ии}}; R_{12} = k_{\text{ин}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{ии}}$, $k_{\text{ин}}$ – коэффициенты передачи измерителей индукции и напряженности.

2. Нормирующий измерительный усилитель, работающий в паре с индукционным измерительным преобразователем (в случае программного интегрирования сигнала о скорости изменения индукции $\dot{B}$ и напряженности $\dot{H}$ магнитного поля). В этом случае

$$R_{11} = k_{\text{ии}} \frac{[\cdot]}{dt}; R_{12} = k_{\text{ин}} \frac{[\cdot]}{dt}, \quad (5)$$

где $\frac{[\cdot]}{dt}$ – процедура дифференцирования $[\cdot]$ (обусловлена чувствительностью индукционного преобразователя лишь к приращениям входной величины).

3. Измерительный интегратор, работающий в паре с индукционным измерительным преобразователем (в случае аппаратного интегрирования сигнала о скорости изменения индукции $\dot{B}$ и напряженности $\dot{H}$ магнитного поля). В этом случае

$$R_{11} = k_{\text{ии}} \int \frac{[\cdot]}{dt} dt; R_{12} = k_{\text{ин}} \int \frac{[\cdot]}{dt} dt, \quad (6)$$

где $\int [\cdot] dt$ – процедура интегрирования по времени $[\cdot]$.

Электрические сигналы $U_1(t)$ и $U_2(t)$ с выхода коммутатора поочередно поступают на вход АЦП, при помощи которого они дискретизируются по времени и квантуются по уровню. Уравнение аналого-цифрового преобразования в операторной форме имеет вид [1]:

$$N_i(t) = [U_i(t)]_{\Delta_K U}^{h_K} = [R_{1i} X_i(t)]_{\Delta_K U}^{h_K}, \quad (7)$$

где $[\cdot]_{\Delta_K U}^{h_K}$ – числовой результат квантования напряжения U при интервале квантования Δ_K , выполняемое за время h_K .

Преобразованная в цифровой код информация поступает в процессор, который производит числовые измерительные преобразования, позволяющие получить результат измерения по I – му входу

$$X_i^* = \left[R_{2i} [R_{1i} X_i(t)]_{\Delta_K U}^{h_K} \right]_{\Delta_K'' X_i}^{h_{q2}}, \quad (8)$$

где R_{2i} – оператор измерительных преобразований, выполняемых в числовой форме по i – му измерительному каналу за время h_{q2} , с интервалом квантования вычислений Δ_K'' по входному параметру X_i .

Измерительные преобразования, выполняемые в числовой форме в

случае прямых измерений, являются обратными к преобразованиям, выполняемым в аналоговой форме [1]:

$$R_{2i} := R_{1i}^{-1}. \quad (9)$$

Рассмотренным выше вариантам оператора аналоговых измерительных преобразований, выражения (4) – (6), соответствуют следующие варианты оператора R_{2i} :

$$R_{21} = \frac{1}{k_{\text{ии}}}, \quad R_{22} = \frac{1}{k_{\text{ин}}}; \quad (10)$$

$$R_{21} = \frac{1}{k_{\text{ии}}} \int_0^T [\cdot] dt, \quad R_{22} = \frac{1}{k_{\text{ин}}} \int_0^T [\cdot] dt; \quad (11)$$

$$R_{21} = \frac{1}{k_{\text{ии}}}, \quad R_{22} = \frac{1}{k_{\text{ин}}}, \quad (12)$$

где T – время цикла измерения.

Кроме числовых измерительных преобразований тензорная методология предусматривает выполнение процессором числовых проекционных преобразований в соответствии с (1), позволяющих получить расчетное значение Y^* требуемой проекции ТМС Y по результатам измерения X^* проекции X

$$Y^* = R_3 X^* = R_3 R_2 K R_1 X, \quad (13)$$

где R_3 – оператор проекционных преобразований; K – оператор аналого-цифровых преобразований.

Перепишем последнее выражение с учетом двухкомпонентности вектора X^* :

$$Y^* = R_3 (R_{21} K R_{11} X_1(t), R_{22} K R_{12} X_2(t)) = \left[R_3 \left(\left[R_{21} [R_{11} X_1(t)]_{\Delta_K U}^{h_K} \right]_{\Delta_K' X_1}^{h_{q2}}, \left[R_{22} [R_{12} X_2(t)]_{\Delta_K U}^{h_K} \right]_{\Delta_K' X_2}^{h_{q2}} \right) \right]_{\Delta_K' Y}^{h_q}, \quad (14)$$

где $[R_3(\cdot)]_{\Delta_K' Y}^{h_q}$ – результат вычислений искомой проекции ТМС Y , выполняемых за время h_q , с интервалом квантования вычислений Δ' .

В соответствии с (4) – (6) возможны три уравнения измерения, реализуемые структурной схемой, изображенной на рис. 1а). В операторной форме они имеют следующий вид:

$$Y = \left[R_3 \left(\left[\frac{[k_{\text{ии}} B(t)]_{\Delta_K U}^{h_K}}{[k_{\text{ии}}]_{\Delta_K k_{\text{ии}}}} \right]_{\Delta_K' X_1}^{h_{q2}}, \left[\frac{[k_{\text{ин}} H(t)]_{\Delta_K U}^{h_K}}{[k_{\text{ин}}]_{\Delta_K k_{\text{ин}}}} \right]_{\Delta_K' X_2}^{h_{q2}} \right) \right]_{\Delta_K' Y}^{h_q}; \quad (15)$$

$$Y = [R_3 \left(\frac{h_\Sigma}{2[k_{\text{ИИ}}]_{\Delta_K k_{\text{ИИ}}}} \left[\sum_0^{T/h_\Sigma} ([k_{\text{ИИ}} \dot{B}(t_S)]_{\Delta'_K U}^{h_K} + [k_{\text{ИИ}} \dot{B}(t_{S-1})]_{\Delta'_K U}^{h_K}) \right]_{\Delta''_K \Sigma}^{h_\Sigma} \right. \\ \left. \frac{h_\Sigma}{2[k_{\text{ИИ}}]_{\Delta_K k_{\text{ИИ}}}} \left[\sum_0^{T/h_\Sigma} ([k_{\text{ИИ}} \dot{H}(t_S)]_{\Delta_K U}^{h_K} + [k_{\text{ИИ}} \dot{H}(t_{S-1})]_{\Delta_K U}^{h_K}) \right]_{\Delta''_K \Sigma}^{h_\Sigma} \right)]_{\Delta'_K Y}^{h_\Sigma} ; \quad (16)$$

$$Y = \left[R_3 \left(\left[\frac{\left[k_{\text{ИИ}} \int_0^T \dot{B}(t) dt \right]_{\Delta_K U}^{h_K}}{[k_{\text{ИИ}}]_{\Delta_K k_{\text{ИИ}}}} \right]_{\Delta'_K X1}^{h_{\text{Ч2}}} , \left[\frac{\left[k_{\text{ИИ}} \int_0^T \dot{H}(t) dt \right]_{\Delta_K U}^{h_K}}{[k_{\text{ИИ}}]_{\Delta_K k_{\text{ИИ}}}} \right]_{\Delta''_K X2}^{h_{\text{Ч2}}} \right) \right]_{\Delta'_K Y}^{h_{\text{Ч}}} , \quad (17)$$

где S – номер шага численного интегрирования методом трапеций; $\dot{B}$ и $\dot{H}$ – скорости изменения индукции и напряженности магнитного поля.

Рассмотрим работу измерительной цепи ПриС–ИПМ, изображенную на рис. 1б). Эта схема работает аналогично первой до получения сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$.

Электрический сигнал $U_1(t)$ поступает на первый вход блока сравнения, на второй вход которого подается с напряжениями U_j с выхода блока уставок. В моменты времени t_j , соответствующие выполнению равенства

$$U_1(t_j) = U_j, j = 1, 2, \dots, n,$$

блок сравнения генерирует сигнал запуска АЦП, осуществляющего квантование по уровню. Уравнение аналого-цифрового преобразования в операторной форме имеет вид [1]:

$$N_2(t_j) = [U_2(t_j)]_{\Delta_K U}^{h_K} = [R_{12} X_2(t_j)]_{\Delta_K U}^{h_K}. \quad (18)$$

Преобразованная в цифровой код информация поступает в процессор, который производит числовые измерительные преобразования:

$$X_2^* = [R_{22} [R_{12} X_2(t_j)]_{\Delta_K U}^{h_K}]_{\Delta''_K X2}^{h_{\text{Ч2}}}. \quad (19)$$

Вид оператора R_{22} , как и для первой схемы, определяется выражениями (10) – (12), а числовые проекционные преобразования соответствуют операторному выражению (13). Однако в данном случае размерность векторов X^* и Y^* равняется n , т.е. для проведения числовых проекционных преобразований необходимо измерить и запомнить n значений X_2^* . С учетом этого уравнение измерения для второй схемы имеет вид:

$$Y^* = R_3 (R_{22} K R_{12} X_2(t_1), R_{22} K R_{12} X_2(t_2), \dots, R_{22} K R_{12} X_2(t_n)), \quad (20)$$

Рассмотрим работу измерительной цепи ПриС–ИПМ, изображенную на рис. 1в). Эта схема, как и схема на рис. 1б) работает аналогично первой до момента получения сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$. Электрический сигнал $U_1(t)$ с выхода коммутатора поступает на вход АЦП, при помощи которого он преобразуется в код:

$$N_1(t) = [U_1(t)]_{\Delta_K U}^{h_K} = [R_{11} X_1(t)]_{\Delta_K U}^{h_K}. \quad (21)$$

Код передается в процессор для числовых измерительных преобразований:

$$X_1^* = [R_{21} [R_{11} X_1(t)]_{\Delta_K U}^{h_K}]_{\Delta_K'' X_1}^{h_{Ч2}}, \quad (22)$$

Вид оператора R_{21} определяется выражениями (10) – (12). Полученный результат сравнивается с хранящимися в памяти процессора значениями X_1^j .

В моменты времени t_j , соответствующие выполнению условия

$$\min[X_1^* - X_1^j] \geq 0, j = 1, 2, \dots, n,$$

процессор вырабатывает сигнал управления коммутатором, в результате чего на вход АЦП поступает напряжение $U_2(t_j)$ и осуществляется преобразование в соответствии с выражением (18).

Преобразованная в цифровой код информация подвергается числовым измерительным преобразованиям согласно (19) и запоминается в оперативной памяти процессора. После накопления всех n значений X_2^* осуществляются числовые проекционные преобразования в соответствии с выражением (20). Полученные уравнения позволяют проводить метрологический анализ вариантов ПриС–ИПМ.

В основе описания погрешностей результатов испытаний, получаемых при помощи ПриС–ИПМ, лежит определение погрешности в виде разности:

$$\Delta Y_j^* = Y_j^* - Y(t_j).$$

Таким образом, полная погрешность есть разность между результатом, полученным при помощи ПриС–ИПМ Y_j^* , и истинным значением искомой величины $Y(t_j)$ в тот момент времени t_j , к которому отнесен полученный результат. Истинное значение искомой величины – это абстракция, которая может быть использована лишь при теоретическом анализе погрешности с помощью аналитических расчетов и имитационного моделирования. Ввиду невозможности установления истинного значения при проведении метрологического эксперимента, используют действительное значение $Y_d(t_j)$, полученное с помощью образцового средства измерения, либо формируемое мерой (калибратором, аттестованным образцом).

В классической метрологии полную погрешность ΔY_j^* принято раз-

делять на методическую $\Delta_M Y_j^*$, обусловленную несовершенством метода измерения, и инструментальную $\Delta_{\text{И}} Y_j^*$, возникающую из-за несовершенства технической части средства измерения, в виде:

$$\Delta Y_j^* = \Delta_M Y_j^* + \Delta_{\text{И}} Y_j^*.$$

Учитывая уравнение измерения (13) и то, что методическая погрешность соответствует результату, который был бы получен при идеальной реализации принятого алгоритма, а инструментальная погрешность обусловлена отличием реальных характеристик технической части средства измерения от номинальных, можно записать:

$$\Delta Y_j^* = R_3^H R_2^H K^H R_1^H X(t) - Y(t_j);$$

$$\Delta_M Y_j^* = R_3 R_2 K R_1 X(t) - Y(t_j);$$

$$\Delta_{\text{И}} Y_j^* = R_3^H R_2^H K^H R_1^H X(t) - R_3 R_2 K R_1 X(t).$$

Здесь индекс «Н» указывает на неидеальность реализации преобразования, представляемого данным оператором.

В работе [1] введено понятие гипотетического алгоритма, позволяющего получить истинное значение искомой величины

$$Y(t_j) = R_3^\Gamma R_2^\Gamma K^\Gamma R_1^\Gamma X(t),$$

где $R_3^\Gamma, R_2^\Gamma, K^\Gamma, R_1^\Gamma$ – аналоги операторов R_3, R_2, K, R_1 соответственно, отличающиеся от них тем, что с их помощью можно получить истинное значение $Y(t_j)$ требуемой проекции ТМС Y по результатам измерения компонент $X(t)$ проекции ТМС X . С учетом этого можно разложить полную, методическую и инструментальную погрешности на четыре составляющие:

$$\Delta Y_j^* = R_3^H R_2^H K^H R_1^H X(t) - R_3^\Gamma R_2^\Gamma K^\Gamma R_1^\Gamma X(t) = \Delta^3 Y_j^* + \Delta^2 Y_j^* + \Delta^K Y_j^* + \Delta^1 Y_j^*;$$

$$\Delta_M Y_j^* = R_3 R_2 K R_1 X(t) - R_3^\Gamma R_2^\Gamma K^\Gamma R_1^\Gamma X(t) = \Delta_M^3 Y_j^* + \Delta_M^2 Y_j^* + \Delta_M^K Y_j^* + \Delta_M^1 Y_j^*;$$

$$\Delta_{\text{И}} Y_j^* = R_3^H R_2^H K^H R_1^H X(t) - R_3 R_2 K R_1 X(t) = \Delta_{\text{И}}^3 Y_j^* + \Delta_{\text{И}}^2 Y_j^* + \Delta_{\text{И}}^K Y_j^* + \Delta_{\text{И}}^1 Y_j^*,$$

где $\Delta^3 Y_j^*, \Delta^2 Y_j^*, \Delta^K Y_j^*, \Delta^1 Y_j^*$ – погрешности, обусловленные отличием реализуемых операторов R_3^H, R_2^H, K^H, R_1^H от гипотетических операторов $R_3^\Gamma, R_2^\Gamma, K^\Gamma, R_1^\Gamma$; $\Delta_M^3 Y_j^*, \Delta_M^2 Y_j^*, \Delta_M^K Y_j^*, \Delta_M^1 Y_j^*$ – погрешности, обусловленные отличием операторов R_3, R_2, K, R_1 от гипотетических операторов $R_3^\Gamma, R_2^\Gamma, K^\Gamma, R_1^\Gamma$; $\Delta_{\text{И}}^3 Y_j^*, \Delta_{\text{И}}^2 Y_j^*, \Delta_{\text{И}}^K Y_j^*, \Delta_{\text{И}}^1 Y_j^*$ – погрешности, обусловленные неидеальной технической реализацией операторов R_3, R_2, K, R_1 .

Разложение полной, методической и инструментальной погрешно-

стей на составляющие создает предпосылки для исследования зависимости погрешностей от конкретных факторов, выражающихся в отличии характера реализуемого отдельного преобразования от желаемого или идеального.

Литература

1. Цветков Э.И. Процессорные измерительные устройства. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 224 с.
2. ГОСТ 25639–83. Магниты литые постоянные. Технические условия. – Введ. 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 27 с.
3. ГОСТ 24936–89. Магниты постоянные для электротехнических изделий. Общие технические требования. Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 21 с.
4. ГОСТ 8.268–77. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик магнитотвердых материалов. – Взамен ГОСТа 13601–68; Введ. 01.01.79. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 21 с.
5. М.В. Ланкин. Универсальный подход к построению моделей изменения магнитных характеристик // Электромеханика. – 2002. № 4. – С.69-75.
6. Петров А.Е. Тензорная методология в теории систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 152 с.
7. Антонов В.Г., Петров Л.М., Щелкин А.П. Средства измерений магнитных параметров материалов. – Л.: Энергоатомиздат, 1986 – 216 с.
8. Сергеев В.Г. Разработка и создание автоматизированных измерительных средств для испытания магнитных материалов: Автореферат дис... докт. техн. наук. – М., 1987 – 34 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-214, e-mail: iimt@srstu.novoch.ru.

УДК 512.972

ТЕНЗОРНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

М.В. Ланкин

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Предлагается универсальный подход к построению моделей изменения магнитных характеристик изделий с постоянными магнитами, основанный на тензорной методологии.

Кривая размагничивания магнитотвердого материала (МТМ) $B(H)$ (участок предельной статической петли гистерезиса, находящийся во втором квадранте) является наиболее информативной характеристикой магнитных свойств постоянных магнитов (ПМ), т.к. значения большинства параметров, регламентированных нормативными материалами [1, 2], могут быть определены при условии, что известна кривая размагничивания МТМ, из которого изготовлен ПМ, и параметры рабочей магнитной системы. Однако об измерении координат точек кривой размагничивания МТМ можно говорить только при испытании образцов, изготовленных с соблюдением условий, определенных ГОСТом [3]. Это вызвано тем, что при получении кривой размагничивания на ее вид оказывают влияние форма и размеры ПМ, конфигурация измерительной магнитной системы, режим и

направление перемагничивания, тип, расположение и габариты первичных измерительных преобразователей и т.п.

Из сказанного следует, что наиболее достоверно магнитные параметры ПМ можно проконтролировать в собранном устройстве, деталью которого является он сам, или в имитирующей магнитной системе. Однако такой подход позволяет лишь констатировать полученный результат, а в случае брака приводит к неоправданно большим потерям. ГОСТы, регламентирующие методы и технические средства испытаний МТМ и изделий из них [1, 2, 3], фактически закрепляют сложившуюся практику определения тех параметров, которые могут быть легко определены, а не тех, которые гарантируют потребителю требуемые эксплуатационные характеристики изделий с ПМ. Они не учитывают в полной мере особенности испытаний в цеховых условиях, необходимость полной автоматизации процессов испытаний, а также не стимулируют использование уже существующих возможностей широкого применения вычислительной техники и теории моделирования.

Для математического описания зависимости $B = f(H)$ ряд авторов используют понятие тензор. Так, например, в соответствии с теорией поляризации тел конечных размеров, развитой В.К. Аркадьевым в [4], проницаемость эллипсоида может быть представлена в виде тензора, имеющего компоненты:

$$\begin{aligned}\mu_a^* &= \mu \frac{1}{1 + N_a(\mu - 1)}; \\ \mu_b^* &= \mu \frac{1}{1 + N_b(\mu - 1)}; \\ \mu_c^* &= \mu \frac{1}{1 + N_c(\mu - 1)},\end{aligned}$$

где μ_a^* , μ_b^* , μ_c^* – относительные магнитные проницаемости тела в направлении соответствующих осей; N_a , N_b , N_c – коэффициенты размагничивания в направлении тех же осей; μ – относительная магнитная проницаемость вещества.

Авторы [5, 6] предлагают рассматривать информацию о магнитных свойствах гистерезисных материалов в виде

$$B = T(H)\mu(H)H, \quad (1)$$

где $T(H)$ – тензор, определяющий взаимную ориентацию в пространстве векторов B , H .

Существенно, что в (1) T и μ представляют собой функции от вектора H и в то же время характеризуют “наследственные” свойства среды – историю намагничивания. Запись (1) выражает не отдельно снятую на измерительной установке кривую и не ограниченное семейство таких кривых – это математическое обобщенное выражение процесса изменения магнитного состояния вещества в произвольном поле, включающего кривые первоначального намагничивания, предельные циклы перемагничивания и

множество частных циклов перемагничивания во всех направлениях.

В работе П.А. Курбатова [6] для МТМ, представляющих собой нелинейную анизотропную среду, обладающую гистерезисными свойствами, предлагается для записи статических характеристик следующее векторное уравнение:

$$\mathbf{B} = \|\tilde{\boldsymbol{\mu}}\| \mathbf{H},$$

где $\|\tilde{\boldsymbol{\mu}}\| = \begin{vmatrix} \mu_{xx} & \mu_{xy} & \mu_{xz} \\ \mu_{yx} & \mu_{yy} & \mu_{yz} \\ \mu_{zx} & \mu_{zy} & \mu_{zz} \end{vmatrix}$ – нелинейный тензор магнитной проницаемости,

причем функции вида $\mu_{xx} = f(H_x, H_y, H_z)$ не являются однозначными и зависят от предшествующих этапов технологических процессов изготовления, намагничивания и стабилизации ПМ.

На наш взгляд, при решении задачи испытания изделий с ПМ необходимо использовать тензорную методологию [7], которая позволяет получить единый комплексный подход к исследованию сложных систем различной природы. Габриэль Крон продемонстрировал применимость этого подхода к теории электрических сетей и машин [8].

Первоначально тензорный анализ, разработанный в XIX в., назывался «абсолютным исчислением». Он ставил задачу – избавиться от громоздких преобразований проекций геометрических объектов при изменении системы координат так, чтобы производить действия непосредственно с самими объектами, а не с их проекциями. Рассмотрим это на примере вектора, который, как известно, можно интерпретировать графически в виде стрелки [9]. Если мы вводим систему координат, то можем определить компоненты вектора и записать их в виде матрицы–столбца или матрицы–строки. Но отождествлять матрицу с самим вектором нельзя. Когда изменяется система координат, компоненты вектора изменяются и получают различные матрицы. Но вектор остается тем же самым, что и прежде, независимо от изменения системы координат. Таким образом, вектор не является просто матрицей. Вектор – это объективная сущность, которая может быть представлена бесконечно большим числом матриц, каждая из которых соответствует определённой системе координат. Когда происходит переход от одной системы координат к другой, компоненты вектора преобразуются в соответствии со специальным правилом, которое отражает объективность этой не изменяющейся сущности.

Как известно [10], любая скалярная величина является тензором нулевой валентности и имеет только одну компоненту. Вектор в r – мерном пространстве является тензором первой валентности и имеет r компонент. Этот тензор может быть либо ковариантным – при этом его компоненты обозначаются через $\mathbf{t}_k$, либо контравариантным – тогда его компоненты обозначаются через $\mathbf{t}^k$. Произвольная компонента наиболее общего тензора запишется в виде $(\mathbf{t}_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m})$ с n ковариантными и m контравариантными индек-

сами. Сумма $m + n = p$ – валентность тензора, имеющего r^p компонент. Это не означает, что любой „математический объект“, состоящий из r^p элементов, является p – валентным тензором в r – мерном пространстве. Определение тензора дается с помощью формул преобразования координат [10].

Пусть $(\mathbf{t}_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m})$ – произвольная компонента p – валентного тензора, n раз ковариантного и m раз контравариантного в некоторой системе координат, а $(\mathbf{T}_{j_1 j_2 \dots j_n}^{g_1 g_2 \dots g_m})$ – соответствующая компонента того же тензора в любой другой системе координат. Если $(\mathbf{t}_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m})$ – компонента тензора, то ее преобразование при изменении системы координат происходит по формуле

$$\mathbf{T}_{j_1 j_2 \dots j_n}^{g_1 g_2 \dots g_m} = \sum_{g j k} \alpha_{j_1}^{k_1} \dots \alpha_{j_n}^{k_n} \beta_{i_1}^{g_1} \dots \beta_{i_m}^{g_m} \mathbf{t}_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m}.$$

Наличие n ковариантных и m контравариантных индексов влечет за собой введение n множителей α и m множителей β (α и β – матрицы прямого и обратного преобразования системы координат с базисом $e_1, e_2, \dots, e_r$ в систему координат с базисом $E_1, E_2, \dots, E_r$). Обратное преобразование имеет вид

$$\mathbf{t}_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m} = \sum_{g j k} \beta_{k_1}^{j_1} \dots \beta_{k_n}^{j_n} \alpha_{g_1}^{i_1} \dots \alpha_{g_m}^{i_m} \mathbf{T}_{j_1 j_2 \dots j_n}^{g_1 g_2 \dots g_m}.$$

Если преобразование $(\mathbf{t}_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m})$ в $(\mathbf{T}_{j_1 j_2 \dots j_n}^{g_1 g_2 \dots g_m})$ и обратно не подчиняется этим формулам, то $(\mathbf{t}_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m})$ не является тензором.

Элементы матриц α и β ($\alpha = \beta^{-1}$) определяются как проекции векторов базиса $E_1, E_2, \dots, E_r$ на базис $e_1, e_2, \dots, e_r$ и обратно:

$$E_m = \sum_k \alpha_m^k e_k; \quad e_k = \sum_m \beta_k^m E_m.$$

Для ковариантного вектора с составляющими в старой системе координат $A_1, A_2, \dots, A_r$, а в новой системе координат $a_1, a_2, \dots, a_r$ формулы преобразования будут

$$A_m = \sum_k \alpha_m^k a_k; \quad a_k = \sum_m \beta_k^m A_m.$$

Для контравариантного вектора с составляющими в старой системе координат $X_1, X_2, \dots, X_r$, а в новой системе координат $x_1, x_2, \dots, x_r$ формулы преобразования будут

$$x^k = \sum_m \alpha_m^k X^m; \quad X^m = \sum_k \beta_k^m x^k.$$

В случае метрического пространства и прямоугольной системы координат $e_1, e_2, \dots, e_r$ и $E_1, E_2, \dots, E_r$ [10] нет надобности различать ковариантные и контравариантные индексы, так как в этом случае

$$\alpha_m^k = \beta_k^m = e_k E_m.$$

Отметим два важных свойства, присущих тензорам:

- 1) тензор отражает объективную реальность;
- 2) его компоненты преобразуются в соответствии со специальным правилом при изменении системы координат.

Эти свойства показывают, что в какой-либо технической структуре уравнения поведения наиболее удобно записывать в тензорной форме, поскольку тензорные свойства, которым соответствуют физические сущности, не появляются и не исчезают при преобразованиях.

Итак, применение тензорной методологии подразумевает существование некоторого объекта – тензора. В нашем случае – это тензор магнитных свойств (ТМС) $\|\mathbf{T}\|$, отражающего объективную реальность и несущего информацию об истинных магнитных свойствах МТМ. Попытка измерить ТМС приводит к получению не самого ТМС, а лишь его проекции $(t_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m})$ в некоторую систему координат, определяемую формой и размерами ПМ, конфигурацией измерительной магнитной системы, режимами и направлением перемагничивания, типами, расположением и габаритами первичных измерительных преобразователей и т.п. Таким образом проявляются лишь те магнитные свойства ТМС $\|\mathbf{T}\|$, которые исследователь может оценить или измерить в этой системе координат. Реальные же магнитные свойства ТМС $\|\mathbf{T}\|$ зачастую исследователю недоступны.

При изменении системы координат проекции ТМС преобразуются в соответствии с матрицами преобразования α и β . Это значит, что правомерно ставить вопрос о возможности идентификации параметров этих матриц и о возможности, измерив проекцию ТМС $(t_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m})$, в некоторую систему координат с базисом $e_1, e_2, \dots, e_r$, без нового испытания определить проекцию $(T_{j_1 j_2 \dots j_n}^{g_1 g_2 \dots g_m})$ того же ТМС $\|\mathbf{T}\|$, в другую систему координат задаваемую базисом $E_1, E_2, \dots, E_r$.

В случаях, когда нет возможности производить измерения непосредственно в интересующих исследователя условиях, можно вводить некоторую «удобную» систему координат, а искомую проекцию ТМС получить путем проецирования.

Сам ТМС не меняется, при преобразовании координат он инвариантен, меняются только его компоненты. В различных системах координат компоненты различны, они представлены различными наборами чисел. Существование ТМС $\|\mathbf{T}\|$ позволяет рассматривать эти наборы как различные представления одного и того же объекта. Например, точка пространства характеризуется в разных системах координат разными числами – проекциями на оси, но сама она существует независимо от систем координат.

Зная проекции, можно отвлечься от самого тензора $\|\mathbf{T}\|$ и наблюдать его изменения только по изменениям проекций. Представление о неизменности самого тензора $\|\mathbf{T}\|$ при преобразовании координат очень важно.

Физически это означает, что сам процесс наблюдения объективен и не меняет поведения ТМС. Отсюда следует еще один важный вывод, что можно и нужно искать проекции ТМС в ортогональные системы координат, т.к. определение параметров матриц α и β прямого и обратного преобразования упрощается, если базисные векторы ортогональны.

Рассмотрим с описанных позиций две кривые размагничивания одного и того же МТМ в координатах: магнитная индукции B – напряженность магнитного поля H_B и намагниченность M – напряженность магнитного поля H_M . Как известно [11], они связаны соотношениями:

$$H_B = H_M; \quad B = \mu_0 H_M + \mu_0 M.$$

Ввиду того, что указанные характеристики принадлежат одному МТМ, имеем две различные проекции ТМС в различные системы координат. Поэтому связь между ними можно рассматривать как переход из системы координат $B(H_B)$ в систему координат $M(H_M)$. Указанные кривые состоят из совокупности точек, каждую из которых будем рассматривать как

двухкомпонентную проекцию тензора первой валентности $\mathbf{b} = \begin{pmatrix} H_B \\ B \end{pmatrix}$ и

$\mathbf{m} = \begin{pmatrix} H_M \\ M \end{pmatrix}$. Как отмечалось выше, преобразование компонент тензора $\|\mathbf{T}\|$

при изменении системы координат будет происходить по формуле

$$\mathbf{b} = \alpha \mathbf{m}, \quad (2)$$

где $\alpha = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \mu_0 & \mu_0 \end{vmatrix}$ – матрица преобразования проекции ТМС $\mathbf{m}$ в проекцию $\mathbf{b}$.

Обратное преобразование компонент тензора $\|\mathbf{T}\|$ происходит по формуле

$$\mathbf{m} = \beta \mathbf{b}, \quad (3)$$

где $\beta = \alpha^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1/\mu_0 \end{vmatrix}$ – матрица преобразования проекции ТМС $\mathbf{b}$ в проекцию $\mathbf{m}$.

Теперь рассмотрим две кривые размагничивания по намагниченности $M^1(H_M^1)$ и $M^2(H_M^2)$ одного и того же эллипсоидального образца, помещенного в магнитные системы с различными коэффициентами размагничивания N_1 и N_2 (образец изготовлен из того же МТМ, что и в рассмотренном выше случае). Указанные характеристики связаны соотношениями [12, 13]:

$$H_M^2 = H_M^1 - (N_1 - N_2)M^1,$$

$$M^2 = M^1.$$

Аналогично вышеописанным, указанные кривые состоят из совокупности точек, которые будем рассматривать как двухкомпонентную

проекцию тензора первой валентности $\mathbf{m}_1 = \begin{pmatrix} H_M^1 \\ M^1 \end{pmatrix}$ и $\mathbf{m}_2 = \begin{pmatrix} H_M^2 \\ M^2 \end{pmatrix}$. Преобразование компонент тензора при данном изменении системы координат будет происходить по формуле

$$\mathbf{m}_2 = \gamma \mathbf{m}_1, \quad (4)$$

где $\gamma = \begin{vmatrix} 1 & N_2 - N_1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$ – матрица преобразования проекции ТМС $\mathbf{m}_1$ в проекцию $\mathbf{m}_2$.

Обратное преобразование компонент тензора $\|\mathbf{T}\|$ происходит по формуле

$$\mathbf{m}_1 = \lambda \mathbf{m}_2, \quad (5)$$

где $\lambda = \gamma^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & N_1 - N_2 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$ – матрица преобразования проекции ТМС $\mathbf{m}_2$ в проекцию $\mathbf{m}_1$.

Уравнения (2) – (5) отражают прямое и обратное преобразование двух пар проекций ТМС $\|\mathbf{T}\|$ эллипсоидального образца, изготовленного из МТМ (проекции $\mathbf{b}$ в проекцию $\mathbf{m}$ и проекции $\mathbf{m}_2$ в проекцию $\mathbf{m}_1$). Используя правило последовательных преобразований систем координат [14], найдем выражения для прямых и обратных преобразований проекции ТМС $\mathbf{b}_1$ в проекцию $\mathbf{m}_2$ и проекции $\mathbf{b}_1$ в проекцию $\mathbf{b}_2$.

Перепишем уравнение (4) для его правой части с учетом уравнения (3)

$$\mathbf{m}_2 = \rho \mathbf{b}_1, \quad (6)$$

где $\rho = \gamma\beta = \begin{vmatrix} 1 - N_2 + N_1 & \frac{N_2 - N_1}{\mu_0} \\ -1 & \frac{1}{\mu_0} \end{vmatrix}$ – матрица преобразования проекции ТМС $\mathbf{b}_1$ в проекцию $\mathbf{m}_2$.

Обратное преобразование компонент тензора $\|\mathbf{T}\|$ производится по формуле

$$\mathbf{b}_1 = \theta \mathbf{m}_2, \quad (7)$$

где $\theta = \rho^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & N_1 - N_2 \\ \mu_0 & \mu_0(1 - N_2 + N_1) \end{vmatrix}$ – матрица преобразования проекции ТМС $\mathbf{m}_2$ в проекцию $\mathbf{b}_1$.

Перепишем уравнение (4) для левой и правой его частей с учетом уравнения (3)

$$\beta \mathbf{b}_2 = \gamma \beta \mathbf{b}_1.$$

Умножив обе части уравнения слева на β^{-1} , получим уравнение преобразования компонент тензора $\|\mathbf{T}\|$

$$\mathbf{b}_2 = \Phi \mathbf{b}_1, \quad (8)$$

где $\Phi = \beta^{-1} \gamma \beta = \begin{vmatrix} 1 - N_2 + N_1 & \frac{N_2 - N_1}{\mu_0} \\ \mu_0(N_1 - N_2) & 1 + N_2 - N_1 \end{vmatrix}$ – матрица преобразования проекции ТМС $\mathbf{b}_1$ в проекцию $\mathbf{b}_2$.

Обратное преобразование компонент тензора $\|\mathbf{T}\|$ производится по формуле

$$\mathbf{b}_1 = \varepsilon \mathbf{b}_2, \quad (9)$$

где $\varepsilon = \Phi^{-1} = \begin{vmatrix} 1 - N_1 + N_2 & \frac{N_1 - N_2}{\mu_0} \\ \mu_0(N_2 - N_1) & 1 - N_2 + N_1 \end{vmatrix}$ – матрица преобразования проекции ТМС $\mathbf{b}_2$ в проекцию $\mathbf{b}_1$.

Выражения (2) – (9) позволяют производить преобразования проекций ТМС, т.е. рассчитывать компоненты одной проекции ТМС (требуемой исследователю) по компонентам известной (например измеренной) проекции ТМС.

Сходная структура выражений (2) – (9) делает очевидной мысль о сходной технической реализации устройств преобразования компонент проекций ТМС.

Описанные выше преобразования ТМС позволяют определять его проекции в системы координат, связанные с условиями испытания ПМ (замкнутая или разомкнутая магнитная система) и измеряемыми параметрами (кривая размагничивания по индукции или по намагниченности). Если система координат, в которую мы хотим получить проекцию ТМС связана с внешними воздействиями на образец МТМ, изменяющими его магнитную или кристаллическую текстуру (например, термическая или термомагнитная обработка), то можно говорить о получении информации о магнитных свойствах образца МТМ, прошедшего ту или иную технологическую операцию до ее проведения по результатам испытания этого же образца МТМ накануне. Рассмотрим задачу в такой постановке подробнее.

Пусть X и Y векторы, имеющие n проекций, задающих параметры ПМ до и после проведения технологической операции. Следуя вышеописанной методологии, будем считать их проекциями ТМС первой валентности в две различные n – мерные в общем случае не ортогональные системы координат с базисами $x_1, x_2, \dots, x_n$ и $y_1, y_2, \dots, y_n$, из которой следует наличие связи между проекциями ТМС. В матричной форме [10] формула преобразования проекций ТМС имеет вид

$$Y = AX,$$

где A – матрица преобразования проекций ТМС.

Как было отмечено выше, определение параметров матрицы преобразования упрощается, если базисные векторы ортогональны. Для перехода от произвольных базисов к ортогональным воспользуемся методом главных компонент (МГК) [15]. В соответствии с математической моделью МГК, если имеется k исследуемых объектов, характеризуемых n центрированными и нормированными признаками, то в матричной форме

$$Y = LF,$$

где Y – матрица центрированных и нормированных параметров; F – матрица главных компонент; L – матрица нагрузок главных компонент.

Для нахождения матрицы нагрузок главных компонент L необходимо решить уравнение

$$(R - \Lambda I)U = 0, \quad (10)$$

где $R = \frac{1}{k-1}YY^T$ – корреляционная матрица; Y^T – транспонированная матрица центрированных и нормированных признаков, Λ – диагональная матрица собственных чисел; I – единичная матрица; U – матрица собственных векторов.

Решение уравнения (10) находят, задавшись условием $U^T U = 1$. Собственные векторы U ввиду того, что они соответствуют различным собственным числам симметричной матрицы R , ортогональны.

Зная матрицы собственных векторов U и собственных чисел Λ , можно найти матрицу нагрузок главных компонент

$$L = U\Lambda^{1/2}.$$

Для того, чтобы применить МГК, требуется информация о проекциях ТМС k образцов ПМ в системы координат с базисами $x_1, x_2, \dots, x_n$ и $y_1, y_2, \dots, y_n$. Обладая этой информацией и воспользовавшись описанной выше методикой, переходим к новым ортогональным системам координат с базисами $U_X(u_{x1}, u_{x2}, \dots, u_{xn})$ и $U_Y(u_{y1}, u_{y2}, \dots, u_{yn})$

$$Y = L_Y F_Y; \quad (11)$$

$$X = L_X F_X. \quad (12)$$

Таким образом, с помощью МГК осуществляется переход от исходных проекций ТМС к новым проекциям в ортогональные системы координат, связанных между собой выражением

$$F_Y = P F_X, \quad (13)$$

где P – матрица преобразования главных компонент.

Главные компоненты F_Y и F_X являются проекциями Y и X на базисные векторы U_Y и U_X , а как известно [14], матрица преобразования координат проекций вектора при изменении базиса представляет собой транспонированную по отношению к матрице, обратной матрице перехода от старого базиса к новому. Значит, если известно, что

$$U_Y = S U_X,$$

где $S = U_Y U_X^{-1}$ – матрица перехода между базисами U_X и U_Y , то матрица преобразования главных компонент с учетом ортогональности собственных векторов

$$P = (S^{-1})^T = U_Y U_X^T. \quad (14)$$

Подставим (13) в (11)

$$Y = L_Y P F_X.$$

В свою очередь, подставим вместо F_X значение из (12)

$$Y = L_Y P L_X^{-1} X.$$

Из последнего выражения с учетом (14) матрица преобразования проекций ТМС имеет вид

$$A = L_Y U_Y U_X^T L_X^{-1}.$$

Использование тензорной методологии к проблемам испытания ПМ по магнитным свойствам и, в частности введение понятия ТМС, позволило нам предложить и реализовать метод испытаний изделий с ПМ[12], позволяющий получить на основании испытания ПМ в условиях, соответствующих системе координат с базисом $e_1, e_2, \dots, e_r$, прогноз о его свойствах в новой системе координат с базисом $E_1, E_2, \dots, E_r$, соответствующей заданным условиям его функционирования. То есть осуществить преобразование измеренной проекции ТМС $(t_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m})$ в искомую проекцию $(T_{j_1 j_2 \dots j_n}^{g_1 g_2 \dots g_m})$.

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема системы для реализации метода испытаний.

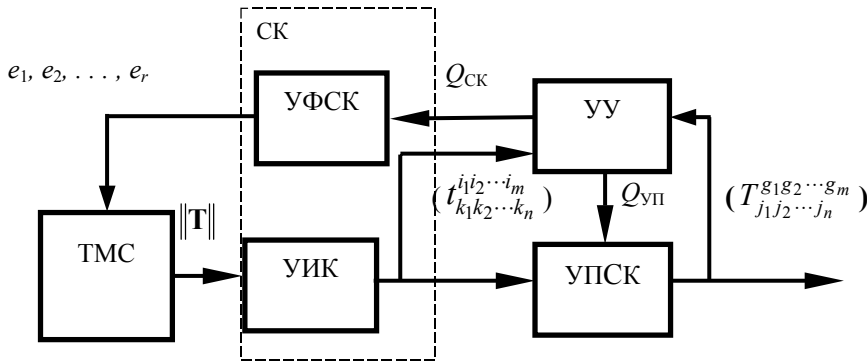
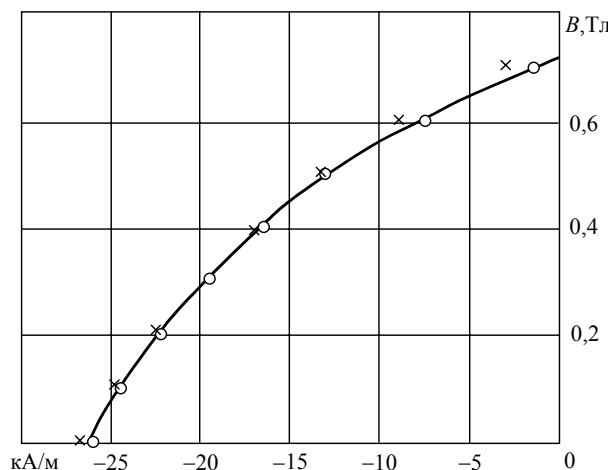


Рис.1. Структурная схема системы для реализации метода испытаний изделий с ПМ

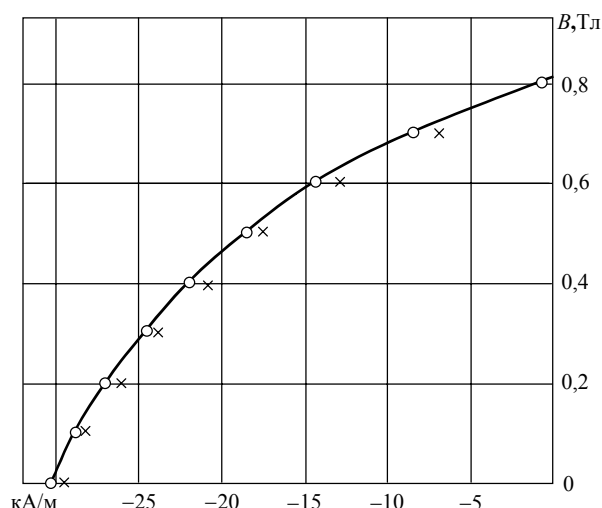
Тензор магнитных свойств взаимодействует с системой координат (СК) с базисом $e_1, e_2, \dots, e_r$. Данный базис определяется условиями, в которых происходят испытания ПМ. Устройство измерения компонент ТМС (УИК) воспринимает измерительную информацию о компонентах $t_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m}$ проекции ТМС в систему координат с базисом $e_1, e_2, \dots, e_r$. На выходе устройства преобразования системы координат (УПСК) из измерительной ин-

формации о компонентах $t_{k_1 k_2 \dots k_n}^{i_1 i_2 \dots i_m}$ получаем искомую проекцию ТМС $T_{j_1 j_2 \dots j_n}^{g_1 g_2 \dots g_m}$ в систему координат с базисом $E_1, E_2, \dots, E_r$. Весь процесс испытания происходит под контролем устройства управления (УУ), которое вырабатывает векторы управляющих сигналов ($Q_{\text{ск}}$ для управления устройством формирования системы координат (УФСК) и УИП, $Q_{\text{упск}}$ – для управления УПСК) в результате анализа измерительной информации и результатов преобразования по заложенной в устройства управления программе.

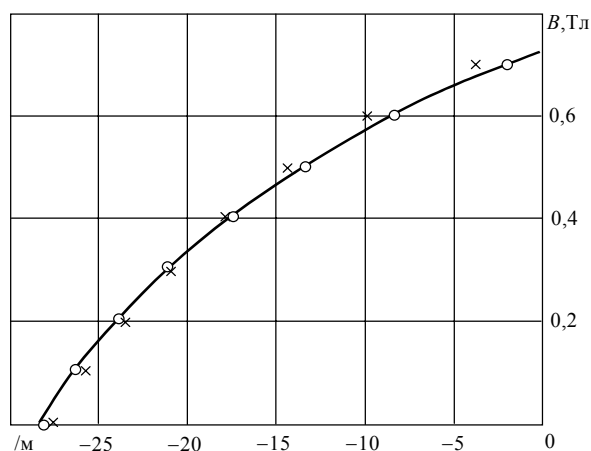
Для проверки описанного подхода к построению моделей изменения магнитных параметров ПМ, происходящих в результате технологических операций, проведен следующий эксперимент. При помощи информационно-измерительной системы У5056 у 15 образцов, имеющих форму цилиндров длиной 62 мм и диаметром 16 мм, измерены координаты точек кривой размагничивания $B(H_1)$. Затем эти образцы нагреты до температуры 350°C и охлаждены вместе с печью. Указанная операция привела к изменению магнитной текстуры и параметров кривой размагничивания. У прошедших термообработку образцов измерены координаты точек кривых размагничивания $B(H_2)$. По магнитным характеристикам 12 образцов была рассчитана матрица преобразования, а затем произведен расчет магнитных характеристик 3 образцов, не участвовавших в ее расчете. Результаты представлены на рис. 2. Погрешность преобразования характеристик, рассчи-



а)



б)



в)

Рис.2. Кривые размагничивания $B(H)$:
а) – образец № 1; б) – образец № 2;
в) – образец № 3; o – эксперимент; x – расчет

танная по методике, приведенной в ГОСТ [3], составила 2,6 %.

Предложенному методу испытаний соответствует процедура совместных измерений, равноценными составляющими которой являются и измерение, и преобразование по заданному алгоритму (расчет), причем последнее может быть выполнено как в аналоговой, так и в цифровой форме. Цифровая форма преобразования подразумевает использование процессорных измерительных средств, в которых вычислительное устройство используется не только для управления и обработки результатов измерений, но и непосредственно участвует в реализации измерительной процедуры.

Несмотря на очевидные преимущества совместного использования, экспериментального и расчетного подходов к определению магнитных параметров изделий с ПМ, они медленно интегрируются в единый метод испытаний. Это обусловлено ориентацией расчетных методов, в основном, на проектирование и исследование сложных магнитных систем, а применение компьютерной техники в натурных испытаниях ПМ ограничивается обычно решением задач автоматизации процесса испытаний и статистической обработкой его результатов.

Применение тензорной методологии к определению магнитных параметров изделий с ПМ невозможно без тесного взаимодействия указанных подходов. Кроме того, тензорная методология весьма перспективна для решения всего спектра проблем, связанных с измерением, контролем и прогнозированием магнитных свойств изделий с ПМ в лабораторных и цеховых условиях.

Литература

1. ГОСТ 25639–83. Магниты литые постоянные. Технические условия. – Введ. 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 27 с.
2. ГОСТ 24936–89. Магниты постоянные для электротехнических изделий. Общие технические требования. Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 21 с.
3. ГОСТ 8.268–77. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик магнитотвердых материалов. – Взамен ГОСТ 13601–68; Введ. 01.01.79. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 21 с.
4. Аркадьев В.К. Электромагнитные процессы в металлах. Ч.1. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1934. – 233 с.
5. Толмачев С.Т., Ильченко А.В. О способах учета магнитных свойств гистерезисных материалов. – Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и транспорт. – 1977. – № 3. – С. 90–98.
6. Курбатов П.А., Аринчин С.А. Численный расчет электромагнитных полей. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
7. Петров А.Е. Тензорная методология в теории систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 152 с.
8. Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике. – М.: Госэнергоиздат, 1955. – 275 с.
9. Попков В.В. Всеобщая инженерная наука Габриэля Крона. Вестник Международного Института А. Богданова. – № 3 (июль, 2000), www.bogdinst.ru.
10. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1967. – 780 с.
11. Постоянные магниты: Справочник / А.Б. Альтман, А.Н. Гербергер, П.А. Гладышев и др.; Под ред. Ю.М. Пятина. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.

12. Ланкин М.В. Устройства контроля и прогнозирования магнитных свойств для систем управления технологическим процессом производства постоянных магнитов. Дис.... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1990. – 268 с.
13. Контроль магнитных параметров полупостоянных магнитов / Н.И. Горбатенко, В.В. Гречихин, М.В. Ланкин, Д.Д. Саввин. – М.: Электротехника, 1997. – № 2. – С. 41-45.
14. Шилов Г.Е. Математический анализ (конечномерные линейные пространства). – М.: Наука. 1969. – 432 с.
15. Дубров А.М. Обработка статистических данных методом главных компонент. – М.: Статистика, 1978. – 135 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-214, e-mail: iimt@srstu.novoch.ru.

УДК 621.38

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ГИС В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ ПОДГОНКИ

Ю.Н. Антонов

Ульяновский государственный технический университет

Важной проблемой обеспечения точности пленочных резисторов гибридных интегральных схем (ГИС) является уменьшение погрешности сопротивления резистивных элементов, в значительной степени определяющих выход годных ГИС. Статья посвящена задаче идентификации состояний резисторов и плат ГИС в процессе автоматизированной лазерной подгонки.

Выход годных плат ГИС определяет технологический уровень производства. Одним из средств повышения выхода годных плат ГИС является подгонка резисторов. Целевая функция, характеризующая выход годных плат ГИС с подложки, определяется выражением:

$$P_g = \max(P_o - P_b),$$

где P_o – всего плат, P_g – число годных плат; P_b – число бракованных плат.

Для максимизации значения целевой функции выполняется измерение сопротивления резисторов, идентификация качества ГИС и подгонка, если необходима.

Идентификация резисторов и плат ГИС в процессе подгонки связана с выявлением логических и функциональных зависимостей между свойствами элементов топологии. Для целей идентификации разработана логико-лингвистическая модель, с помощью которой устанавливаются ситуативные и формульные отношения между состояниями резисторов, платами ГИС и операциями технологического процесса подгонки. В основе алгоритма идентификации – многоуровневая структура условий. С помощью включенных в систему управления экспертных компонент осуществляется разбиение на группы элементов топологии и выделение групп для обработки. Для выделения групп используется количественное значение измеренного сопротивления и двоичное для формирования признака годности резисторов и плат ГИС. Множество ситуаций идентификации представляет

собой совокупность родственных по управлению классов, число которых соответствует числу принимаемых решений. Обобщение объектов осуществляется путем разбиения их на классы толерантности и установления изоморфизма между множеством объектов и множеством решений (операций управления). Поэтому в каждый класс попадают такие конкретные объекты, для которых с точки зрения критерия управления необходимо принимать одно и то же решение.

432067, г. Ульяновск, пр-т. Ленинского комсомола, 49-93, т. 20-33-39,
e-mail: antonov@ulstu.ru.

УДК 621.318.1.001.41

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗМАГНИЧИВАЮЩИМ ПОЛЕМ

М.В. Ланкин

Южно–Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассмотрен программный пакет, реализующий адаптивный алгоритм управления размагничивающим полем при определении статических кривых размагничивания магнитотвердых материалов.

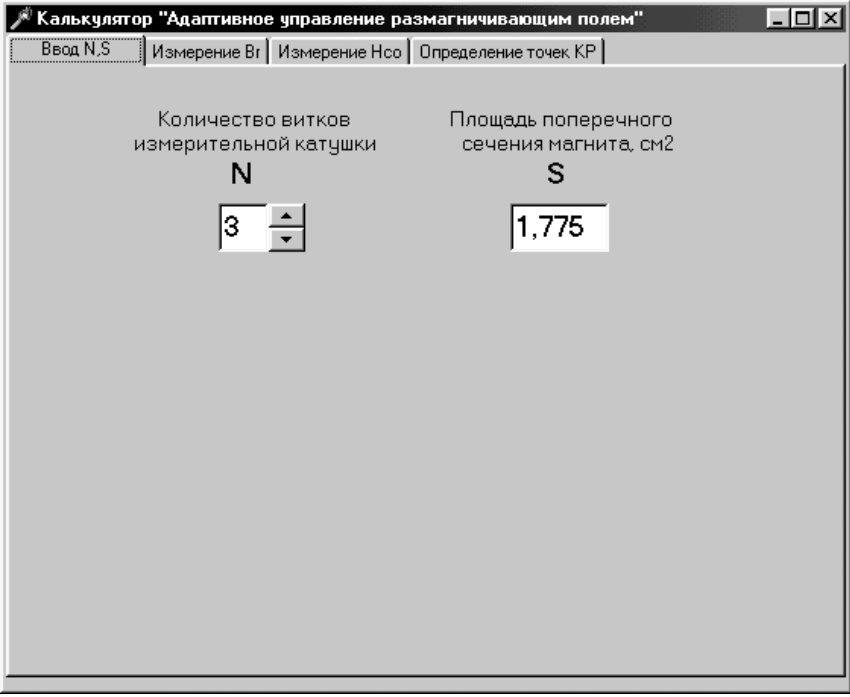
В работе [1] предложен адаптивный алгоритм управления размагничивающим полем при определении статических кривых размагничивания магнитотвердых материалов (МТМ), а также алгоритм оценки остаточной индукции B_r и ожидаемой коэрцитивной силы H_{CO} в процессе магнитной подготовки образца из МТМ. Данные алгоритмы пригодны для реализации автоматическими магнитоизмерительными системами.

Для применения этого алгоритма при испытании образцов из МТМ на установках с ручным управлением разработан программный пакет «Калькулятор «Адаптивное управление размагничивающим полем».

Чаще всего в таких установках для измерения напряженности магнитного поля в рабочем зазоре используется тесламетр с датчиком Холла, а для измерения магнитной индукции в образце – веберметр с измерительной катушкой, охватывающей центральное сечение образца [2].

Рассмотрим работу программы на конкретном примере. Возьмем в качестве испытуемого образец МТМ с $B_r = 1,4$ Тл; $H_c = 45,4$ кА/м. Он помещается в намагничивающую систему. На нейтральное сечение образца нанесена измерительная катушка, содержащая три витка, выход которой подсоединен к веберметру Ф199. Площадь поперечного сечения образца $1,775 \cdot 10^{-4}$ м². Напряженность перемангничивающего поля измеряется цифровым тесламетром 43205.

При запуске программы пользователю предлагается (рис. 1) произвести ввод исходных данных (N – количество витков измерительной катушки, S – площадь поперечного сечения образца в см²).



Калькулятор "Адаптивное управление размагничивающим полем"

Ввод N,S | Измерение B_r | Измерение H_{co} | Определение точек КР

Количество витков измерительной катушки: **N**

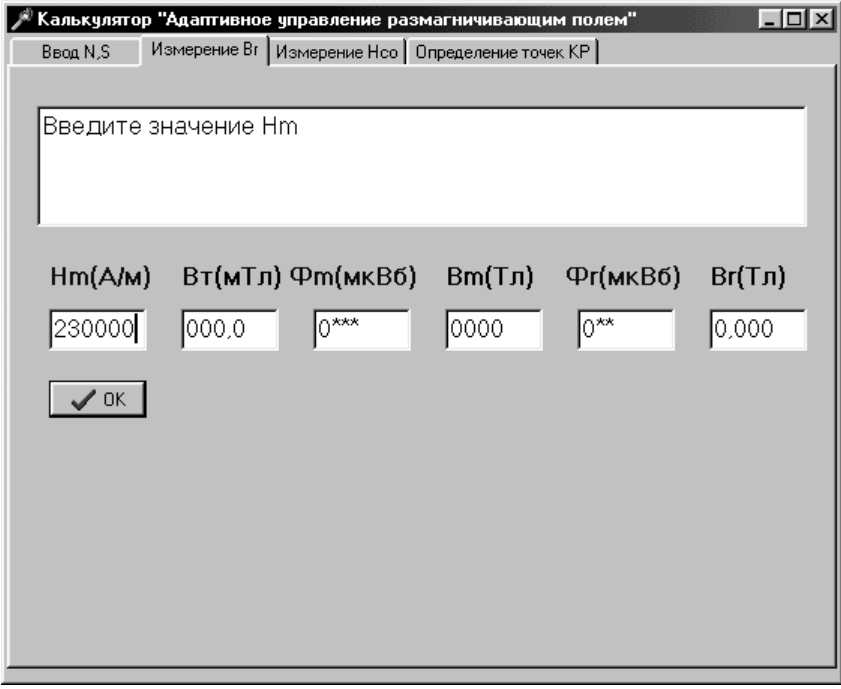
Площадь поперечного сечения магнита, см²: **S**

N: 3

S: 1,775

Рис.1. Окно ввода исходных данных

Для определения значения остаточной индукции B_r , необходимо выбрать закладку «Измерение B_r » (рис. 2). Пользователю предлагается ввести значение максимальной напряженности H_m (в нашем случае 230000 А/м).



Калькулятор "Адаптивное управление размагничивающим полем"

Ввод N,S | Измерение B_r | Измерение H_{co} | Определение точек КР

Введите значение H_m

H_m (А/м) B_T (мТл) Φ_m (мкВб) V_m (Тл) Φ_r (мкВб) B_r (Тл)

230000 000,0 0*** 0000 0** 0,000

OK

Рис.2. Окно «Измерение B_r » (исходное состояние)

После нажатия на пиктограмму «ok» в окошке комментариев появляется сообщение, что необходимо произвести перемагничивание образца в состояние насыщения (точку с координатами $(-H_m; -B_m)$). Для этого нужно установить по тесламетру значение внешнего поля, предложенное программой, в окне « B_T (мТл)», т.е. 289 мТл. В момент достижения этой точки включить веберметр, изменить полярность внешнего поля и произвести

перемагничивание образца в состояние с координатами $(+H_m; +B_m)$, считать показание веберметра и занести его в окошко « Φ_m (мкВб)». В результате описанных манипуляций программа рассчитает значение индукции насыщения и высветит результат в окошке « B_m (Тл)». Кроме того будет предложено обнулить веберметр и выключить внешнее поле, что переведет образец в точку остаточной индукции, а веберметр измерит приращение $\Phi_m - \Phi_{Br}$, величину которого необходимо ввести в окно « Φ_r (мкВб)». После этого программа вычисляет значение остаточной индукции B_r (рис. 3).

Калькулятор "Адаптивное управление размагничивающим полем"

Ввод N,S | Измерение Br | Измерение Hco | Определение точек КР

Получите значение Br

1.43

Hm(A/m) Bt(мТл) Фm(мкВб) Vm(Тл) Fr(мкВб) Br(Тл)

230000 289 2060 1.93 266 1.43

OK

Рис.3. Окно «Измерение B_r » (результат)

Далее переходим к закладке «Измерение H_{CO} ». Появляется окно, изображенное на рис. 4.

[illegible]

Рис.4. Окно «Измерение H_{CO} » (исходное состояние)

Пользователю предлагается установить внешнее поле, соответствующее показанию тесламетра $B_{Ti} = -57,8$ мТл.

Пользователь перемещает образец таким образом, что тот из точки $+B_r$ попадает в точку, соответствующую установленному внешнему полю B_{Ti} , и фиксирует показания веберметра: $\Phi_1 = 905$ мВб. Это значение записывается в окно « Φ_i (мкВб)». В окне для комментариев появляется надпись: «Заведите образец в насыщение, а затем в точку B_r . Получите значение B_{mi} », и в окошке B_{mi} появляется следующее рекомендуемое значение внешнего поля $B_{m2} = 28,9$ мТл.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнута точка, в которой результат сравнения $\Delta B_i \approx B_r$ выполняется с точностью 3%.

В нижнем окне высвечивается протокол определения ожидаемой коэрцитивной силы поэтапно, который содержит следующие данные:

- 1) i – номер шага;
- 2) dH – приращение напряженности внешнего магнитного поля i -го шага;
- 3) H – значение напряженности внешнего поля на i -м шаге;
- 4) B_T – значение внешнего поля по тесламетру;
- 5) Φ – изменение магнитного потока через измерительную катушку при i -м шаге;
- 6) dB – приращение внутренней индукции в образце на i -м шаге;
- 7) B – значение внутренней индукции в образце на i -м шаге.

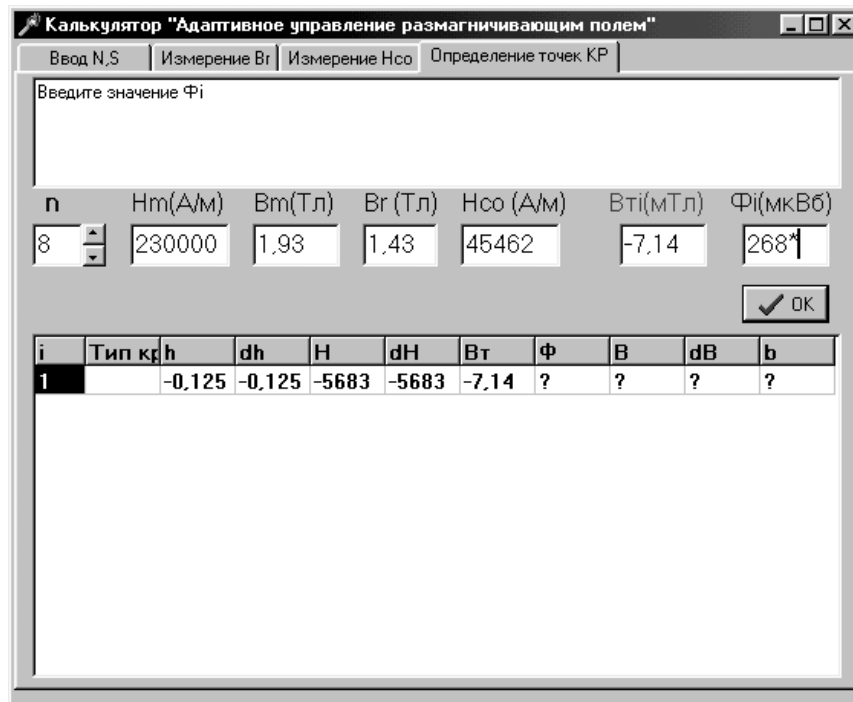
В конце процесса магнитной подготовки образца и определения ожидаемой коэрцитивной силы окно протокола выглядит, как показано на рис. 5.

i	dH	H	B_T	Φ	dB	B
1	46000	46000	57,81	905	1,7	-0,27
2	23000	23000	28,9	53	0,1	1,33
3	11500	34500	43,35	53	0,1	1,23
4	5750	40250	50,58	53	0,1	1,13
5	2875	43125	54,19	213	0,4	0,73
6	1438	44563	56	213	0,4	0,33
7	719	45282	56,9	128	0,24	0,09
8	360	45642	57,36	107	0,201	-0,111
9	45462	45462	57,13	719	1,35	0,08

Рис.5. Окно протокола магнитной подготовки

Последним шагом образец заводится в насыщение. Таким образом осуществлена магнитная подготовка и определены B_r и H_{CO} .

Завершающим этапом является определение точек кривой размагничивания. Допустим, необходимо измерить $n = 8$ точек КР. Для этого необходимо переключиться на флажок «Определение точек КР». Появляется окно, изображенное на рис. 6.



Калькулятор "Адаптивное управление размагничивающим полем"

Ввод N,S | Измерение B_r | Измерение H_{co} | **Определение точек КР**

Введите значение Φ_i

n H_m(А/м) B_m(Тл) B_r(Тл) H_{co}(А/м) B_{тi}(мТл) Φ_i (мкВб)

8 230000 1.93 1.43 45462 -7.14 268*

OK

i	Тип КР	h	dh	H	dH	B_T	Φ	B	dB	b
1		-0.125	-0.125	-5683	-5683	-7.14	?	?	?	?

Рис.6. Окно «Определение точек КР»

Здесь пользователю предлагается ввести желаемое количество точек для определения КР. Как и прежде, верхнее окно – окно подсказок; нижнее – окно протокола. Заносим в окошко n восьмерку. Нажимаем кнопку «ok». В окошке B_T появляется рекомендуемое значение внешнего поля, которое пользователю необходимо установить по тесламетру (в данном случае – 7,14 мТл).

Далее пользователь заводит образец в насыщение с координатами $(+H_m; +B_m)$, а затем меняет внешнее поле и устанавливает его на уровне – 7,14 мТл. В этот момент веберметр показывает поток через измерительную катушку $\Phi = 268 \mu\text{Вб}$. Вносим это значение в соответствующее окошко и нажимаем «ok». Появляется следующее значение рекомендуемого внешнего поля, которое необходимо установить пользователю. Процесс заканчивается после восьмого шага (рис. 7).

В нижнем окне высвечивается протокол определения точек КР пошагово, который содержит следующие данные:

- 1) i – номер шага;
- 2) Тип КР – номер типовой КР, к которой относится исследуемая КР;
- 3) h – нормированное значение напряженности на i -м шаге;
- 4) dH – приращение напряженности внешнего поля на i -м шаге;
- 5) H – значение напряженности внешнего поля на i -м шаге;
- 6) B_T – показания тесламетра на i -м шаге;
- 7) Φ – показания веберметра на i -м шаге;

- 8) B – значение внутренней индукции на i -м шаге;
- 9) dB – приращение индукции на i -м шаге;
- 10) b – значение нормированной внутренней индукции на i -м шаге.

i	Тип кр	h	dh	H	dH	Bг	Φ	B	dB	b
1		-0.125	-0.125	-5683	-5683	-7.14	268	1.427	-0.003	0.998
2	1	-0.5	-0.375	-22731	-17048	-28.56	285	1.395	-0.032	0.976
3	1	-0.667	-0.167	-30323	-7592	-38.11	303	1.361	-0.034	0.952
4	1	-0.75	-0.083	-34096	-3773	-42.85	320	1.329	-0.032	0.929
5	1	-0.832	-0.082	-37824	-3728	-47.53	351	1.271	-0.058	0.889
6	1	-0.909	-0.077	-41325	-3501	-51.93	421	1.139	-0.132	0.797
7	1	-0.983	-0.074	-44689	-3364	-56.16	720	0.578	-0.561	0.404
8	2	-0.999	-0.016	-45417	-727	-57.07	1028	-0.001	-0.579	-0.001

Рис.7. Окно протокола измерений КР

Таким образом, программный пакет позволяет автоматизировать работу по испытанию образцов МТМ в части определения оптимального приращения размагничивающего поля в зависимости от формы кривой размагничивания.

Литература

- Ланкин М.В., Пжилуский А.А. Адаптивное управление размагничивающим магнитным полем для определения параметров МТМ // Интеллектуальные электромеханические устройства, системы и комплексы: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, 26 октяб. 2001 г.: В 2 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ООО НПО «ТЕМП», 2001. – Ч. 2. – С. 6-22.
- ГОСТ 8.268-77. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик магнитотвердых материалов. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 24 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-214, e-mail: iimt@srstu.novoch.ru.

УДК 621.317.4

УПРАВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА

М.В. Ланкин, К.Ю. Соломенцев, Е.А. Валах

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассмотрен функциональный блок устройства для испытания магнитомягких материалов – управляемый источник тока. Он позволяет получить ток до 20А заданной амплитуды и формы.

Управляемый источник тока (УИТ) является одним из функциональных блоков устройства для испытания магнитомягких материалов [1]. Он предназначен для выработки тока пилообразной формы, амплитуда которого пропорциональна напряженности магнитного поля, необходимой для перемагничивания испытываемого образца по частным циклам петли гистерезиса (рис. 1).

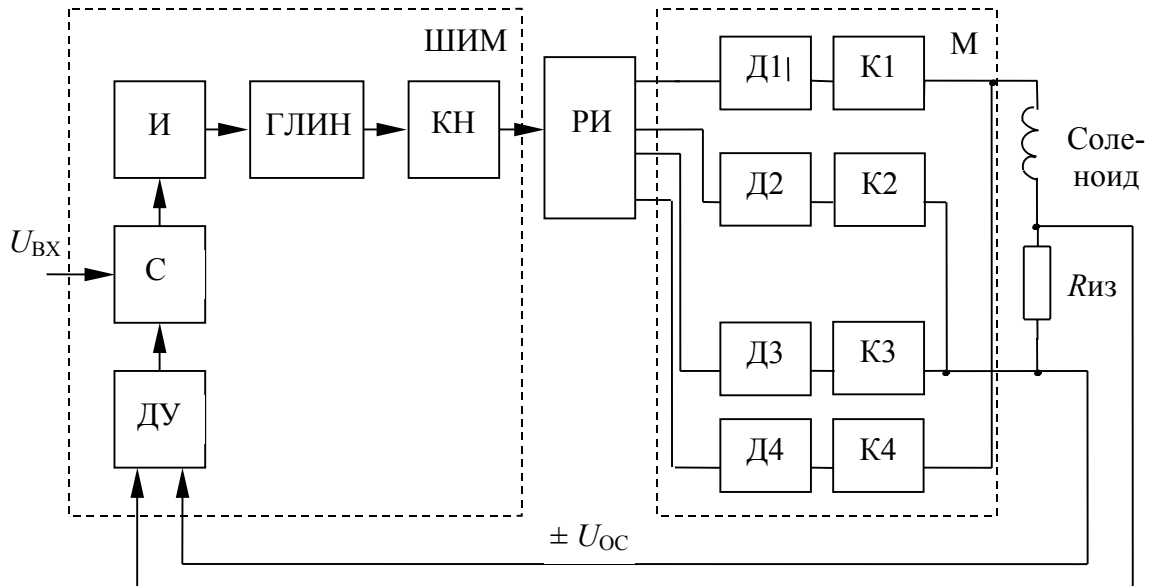


Рис.1. Функциональная схема УИТ

Управляемый источник тока состоит из широтно-импульсного модулятора (ШИМ), распределителя импульсов (РИ) и мостового усилителя (М), содержащего четыре драйвера (Д) для управления мощными полевыми ключами (К).

Широтно-импульсный модулятор предназначен для преобразования заданного входного напряжения в импульсную последовательность. Этот блок состоит из дифференциального усилителя (ДУ), сумматора (С), интегратора ошибки (И), генератора линейно – изменяющегося напряжения (ГЛИН) и компаратора напряжения (КН).

Дифференциальный усилитель предназначен для получения сигнала отрицательной обратной связи по напряжению.

Напряжения с выводов мостового усилителя подаются на входы дифференциального усилителя, а на его выходе формируется напряжение, которое пропорционально разности напряжений на выводах мостового усилителя, т.е. на намагничивающей обмотке соленоида. Коэффициент усиления дифференциального усилителя меньше единицы, так как он должен ослаблять напряжение. За счет того, что дифференциальный усилитель обеспечивает инверсию напряжения, то на выходе сумматора формируется напряжение, равное не сумме, а разности входного напряжения и напряжения обратной связи.

Сумматор должен работать при любых соотношениях входного напряжения и напряжения обратной связи. Следовательно, коэффициенты передачи по входам должны быть равными и иметь значение 0,5.

Интегратор предназначен для интегрирования сигнала ошибки, поступающей с выхода сумматора.

Генератор пилообразного напряжения (рис. 2) необходим для широтно-импульсной модуляции. В таких случаях, как правило, используют симметричное пилообразное напряжение.

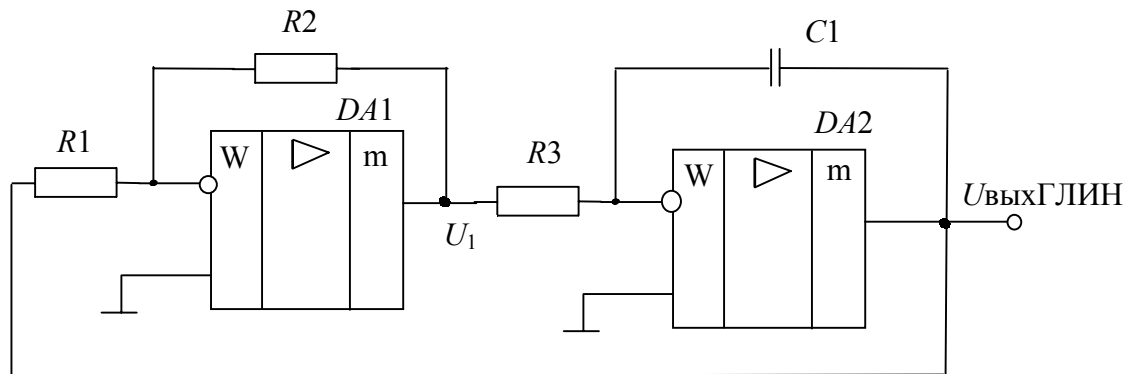


Рис.2. Генератор пилообразного напряжения

На рис. 3 представлена временная диаграмма напряжений в различных точках генератора.

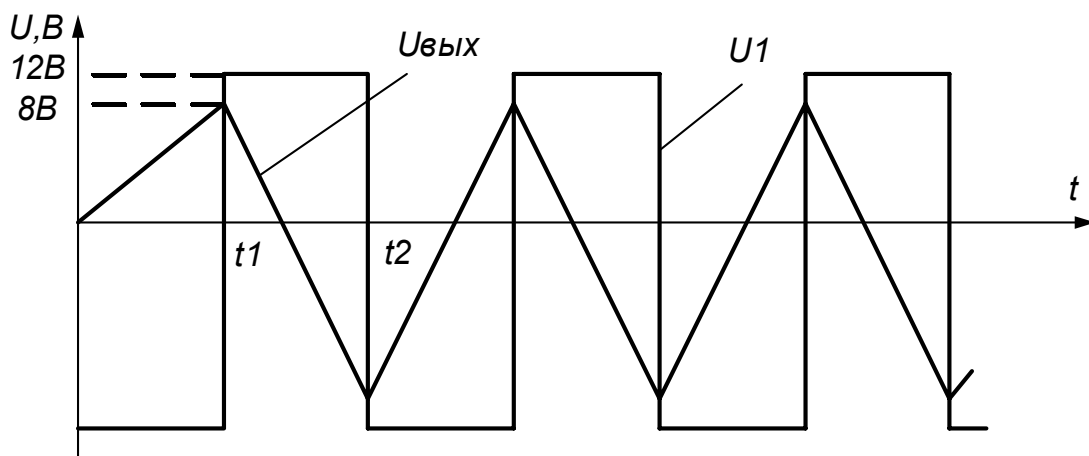


Рис.3. Временная диаграмма напряжений генератора

Генератор работает следующим образом. При напряжении $U1 = -12В$ интегратор на $DA2$ интегрирует постоянное отрицательное напряжение, на его выходе напряжение линейно возрастает. В момент t_1 переключается микросхема $DA1$, которая включена в режиме компаратора. На ее выходе появляется $+12В$, напряжение $U_{\text{вх } DA1}$ скачком изменяется до некоторой положительной величины, благодаря чему достигается четкое срабатывание компаратора. Затем, до момента времени t_2 , $DA2$ интегрирует положительное напряжение, на его выходе напряжение линейно возрастает и достигает определенной отрицательной величины. После этого, в момент времени t_2 компаратор возвращается в состояние $-12В$. Далее процесс повторяется.

Компаратор (рис. 4) необходим для сравнения пилообразного напряжения с выходным сигналом интегратора.

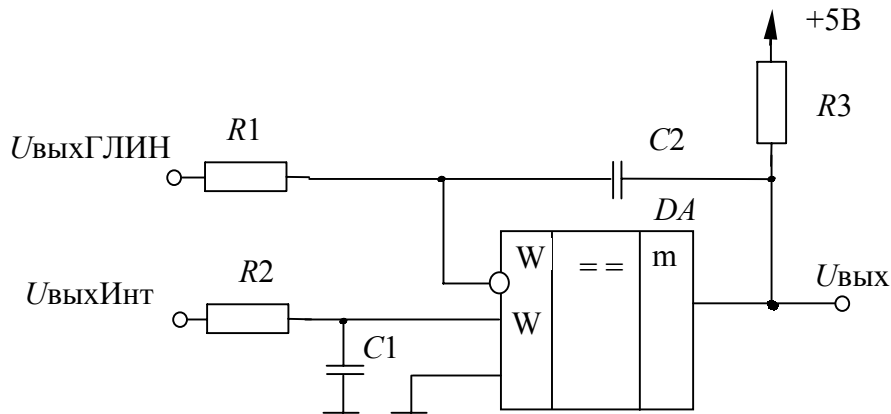


Рис.4. Схема компаратора напряжения

Цепочки $C1R2$ и $C2R1$ предназначены для подавления высокочастотных помех. Постоянная времени $C1R2$ должна быть как минимум на три порядка меньше периода частоты пилообразного напряжения, для того чтобы форма пилообразного напряжения не исказилась.

Полученный на выходе ТТЛ–сигнал поступает на распределитель импульсов. Распределитель импульсов представляет собой логическую схему, которая устраняет «дребезг», обеспечивает бестоковую паузу при переключении транзисторов.

Когда длительность логической единицы на выходе компаратора преобладает над длительностью логического нуля, распределитель импульсов выдает управляющее напряжение для открытия ключей К1 и К2, а на выходе мостового усилителя действует положительное напряжение. Если длительности одинаковы, то напряжение на выходе мостового усилителя равно нулю. Если длительность больше логического нуля, то открыты ключи К3, К4 и в диагонали мостового усилителя протекает ток отрицательной полярности.

Схема драйвера (рис. 5) предназначена для управления ключами на мощных полевых транзисторах типа *IRFP264*. Всего в устройстве четыре ключа, соответственно каждым из них управляет свой драйвер. Управление драйвером осуществляется от ТТЛ–микросхем устройства управления источником тока через оптрон. Выходы драйвера подключены к затвору и истоку полевого транзистора. Причем «земля каждого» драйвера подключена к истоку соответствующего транзистора, поэтому между «землями» действует высокое напряжение. Вследствие этого каждый драйвер питается индивидуальными источниками +12В и –5В.

В практических схемах часто применяют однополярное питание драйвера +12В. При этом для открывания транзистора подается +12В, что на 8,5В больше порогового значения, а для закрывания подается 0В, что на 3,5В меньше порога. Такой перекокс приводит к тому, что транзистор от-

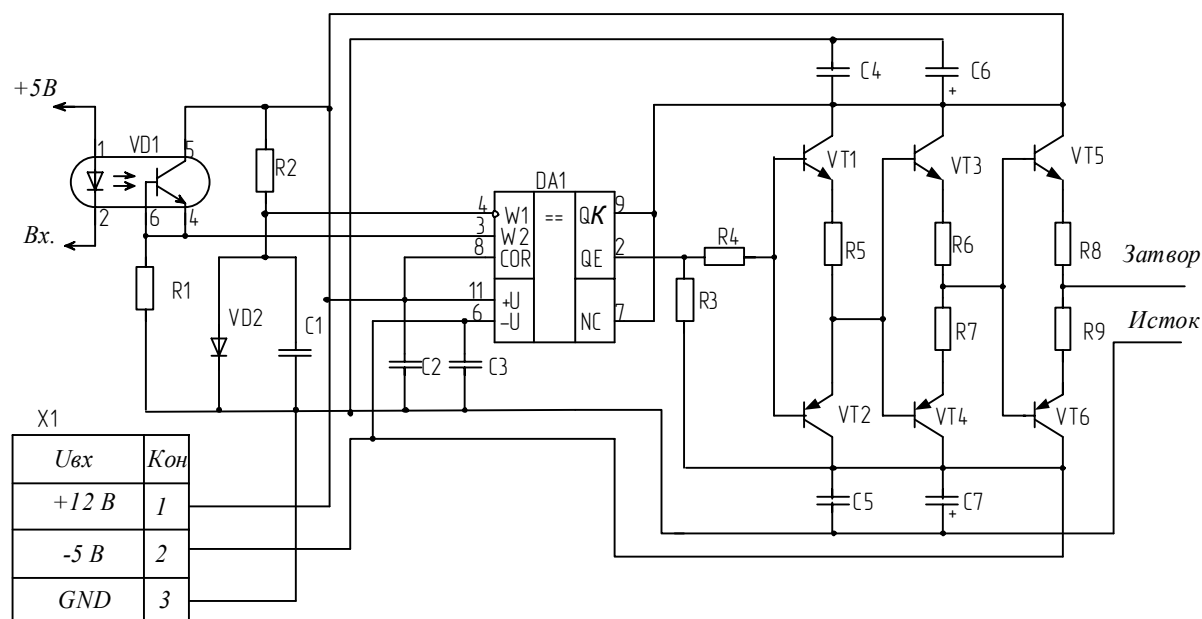


Рис.5. Принципиальная схема драйвера

крывается быстрее, а закрывается медленнее. Для обеспечения симметрии выбираем двуполярное питание, причем положительное +12В, а отрицательное –5В. В результате полевой транзистор будет одинаково быстро открываться и закрываться.

Драйвер должен обеспечивать как зарядный, так и разрядный токи порядка 9А. При этом следует учитывать, что потребляемая мощность драйвера не будет большой, так как этот ток будет протекать только в течение очень короткого интервала времени. Резисторы R_8 , R_9 предназначены для ограничения тока коллектора выходных транзисторов. Управляющее напряжение на базы VT_1 и VT_2 подается от компаратора $DA1$.

При такой реализации УИТ обеспечивает ток заданной амплитуды и формы.

Литература

1. Теория, методы и средства измерений контроля и диагностики: Материалы II Международ. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: ООО НПО «Темп», 2001. – Ч. 1. – 79 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-214, e-mail: iimt@srstu.novoch.ru.

УДК 53.082.53

РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ

Н.Ф. Никитенко, И.Р. Чебанов

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассмотрены основные характеристики рефрактометрических методов измерения плотности жидкостей. Проведен их сравнительный анализ на соответствие требованиям со стороны системы контроля и управления качеством продукции.

Автоматизация предприятий химической, нефтяной, фармацевтической и пищевой промышленности требует разработки и усовершенствования методов непрерывного контроля состава сырья, полупродуктов и целевых продуктов, процессов их очистки и разделения, контроля и регулирования смешения реагентов, а также контроля основных химических процессов. Из многих средств автоматического контроля и управления технологическими процессами рефрактометрия привлекает своей универсальностью, высокой чувствительностью и простотой измерений при сравнительно легкой их автоматизации. Другой, не менее важной областью приложения автоматической рефрактометрии, является контроль современных высокоэффективных лабораторных физико-химических процессов разделения, очистки и анализа – жидкостной хроматографии, противоточного распределения и ректификации. Обе эти сферы применения автоматической рефрактометрии выдвигают специфические метрологические и технические проблемы. Отчасти это проблемы общие и для промышленных, и для лабораторных рефрактометров, связанные с особыми условиями точного измерения показателей преломления потоков жидкостей и техникой непрерывной регистрации оптических измерений. При этом, однако, требования, предъявляемые к автоматической регистрации показателей преломления и режимам работы аппаратуры на производстве и в лаборатории, столь существенно различаются, что целесообразно выделить и рассматривать отдельно два типа автоматических регистрирующих рефрактометров – промышленные и лабораторные.

Существует много разновидностей методов рефрактометрических измерений и соответствующих им рефрактометров. Наша задача состоит в выборе рефрактометрической измерительной схемы, которую можно было бы использовать в автоматизированных системах контроля и управления качеством продукции для пищевой, нефтехимической, фармацевтической и других отраслей промышленности, а также в лабораторных исследованиях (например, измерение плотности электролита для диагностики аккумулятора, концентрации сахара, качества бензина и др.). Такой рефрактометр должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Автономный характер применения.
2. Возможность работы с различными видами жидких сред: с электролитами и неэлектролитами.
3. Возможность автоматической коррекции показаний при изменении температуры контролируемого раствора и окружающей среды.
4. Пожаро- и взрывобезопасность.
5. Портативный (или переносной) вариант исполнения с первичным рефрактометрическим преобразователем погружного типа.
6. Диапазон измерения по показателю преломления $0,7 \div 2,2$.
7. Погрешность измерения по показателю преломления $10^{-4} \div 10^{-5}$.
8. Диапазон температур контролируемых растворов:

вариант I (лабораторный)	$+10 \div +100$ °C,
вариант II (промышленный)	$-20 \div +100$ °C.

9. Выходные сигналы (нормированные) для подачи в автоматизированную систему управления качеством продукции.

10. Прибор должен содержать аналоговое или цифровое (микропроцессорное) устройство для коррекции влияния температуры на результат измерения.

Для выбора рефрактометрической измерительной схемы, удовлетворяющей этим требованиям, кратко остановимся на основных аналитических соотношениях рефрактометрического метода, а затем рассмотрим классификацию и сравнительный анализ основных типов рефрактометров.

1. Основные аналитические соотношения рефрактометрического метода

Рефрактометрические методы измерения плотности жидкости основаны на зависимости показателя преломления исследуемой жидкости от ее плотности. Теоретические исследования, а также опытные данные показывают, что имеет место прямо пропорциональная зависимость некоторой функции показателя преломления $f(n)$ от плотности жидкости $\rho_{\text{ж}}$ [1,2]:

$$f(n) = R_y \rho_{\text{ж}},$$

где n – показатель преломления; R_y – удельная рефракция. В отличие от n и $\rho_{\text{ж}}$, удельная рефракция практически не зависит от внешних условий (температуры, давления) и агрегатного состояния вещества.

Наиболее теоретически обоснованный вид функции $f(n)$ был дан Лорентцем и Лоренцем [1]:

$$f(n) = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}.$$

С учетом этого соотношения для данного вещества выражение для удельной рефракции имеет вид:

$$R_y = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho_{\text{ж}}}. \quad (1)$$

При решении ряда задач в химии широко используется так называемая молекулярная рефракция R_m , которая определяется как произведение удельной рефракции на молекулярную массу M [1,2]:

$$R_m = R_y M.$$

Подставляя это соотношение в (1), получим:

$$R_m = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{\rho_{\text{ж}}},$$

откуда

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{R_m}.$$

Используя эту формулу, можно определить плотность жидкости путем измерения ее показателя преломления.

Если необходимо вычислить показатель преломления жидкости с известной плотностью, можно использовать формулу:

$$n = \sqrt{\left(\frac{M}{\rho_{\text{ж}} R_{\text{м}}} + 2\right) / \left(\frac{M}{\rho_{\text{ж}} R_{\text{м}}} - 1\right)}.$$

Для измерения показателя преломления жидкости существует ряд методов, положенных в основу построения различных рефрактометрических систем.

2. Измерения показателя преломления

Приборы для измерения показателя преломления (рефрактометры) можно классифицировать по различным признакам.

По принципу реализации измерительной схемы рефрактометры можно подразделить на:

- гониометрические (с измерением угла преломления по смещению границы «свет-тень»);
- фотометрические (с преобразованием изменений угла преломления в световой поток).

По совокупности приемов использования принципов и средств измерения рефрактометры можно разделить на приборы, использующие:

- метод непосредственной оценки;
- дифференциальный метод;
- компенсационный (нулевой).

По используемым *принципам* измерения показателя преломления различают рефрактометры, основанные на использовании:

- метода призмы;
- метода предельного угла;
- интерференционных методов;
- отражения света;
- иммерсионного метода;
- принципа нарушения полного внутреннего отражения.

По количеству каналов получения и обработки информации различают аппараты:

- одноканальные;
- двухканальные;
- многоканальные.

По степени автоматизации процедуры измерения рефрактометры можно разделить на:

- ручные (визуальные);
- полуавтоматические;
- автоматические.

Автоматические рефрактометры реализуются в виде оптико-электронного прибора, имеющего, как правило, три основных блока: ис-

точник излучения, оптический рефрактометрический блок и электронное устройство обработки информации.

По характеру взаимодействия прибора с контролируемой жидкостью рефрактометры можно классифицировать на проточные и непроточные.

По условиям практического применения рефрактометры можно разделить на лабораторные и промышленные.

В зависимости от конструктивного исполнения различают рефрактометры:

- стационарные;
- передвижные;
- переносные (портативные).

С целью последующего анализа и выбора наиболее предпочтительной рефрактометрической схемы для создания портативных плотномеров экспрессного анализа рассмотрим более подробно основные типы оптических преобразователей рефрактометров.

Рефрактометры, основанные на методе призмы. Метод заключается в том, что световой пучок, проходя через прозрачную призму, отклоняется на угол, величина которого зависит от показателя преломления вещества призмы. Заполняя полую призму исследуемой жидкостью, можно измерять показатель преломления последней.

На рис. 1 показан ход светового пучка через такую призму.

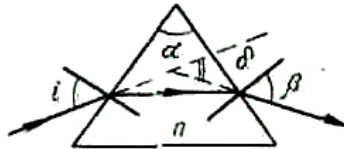


Рис.1. Преломление лучей в призме

Зная величины α и i и измеряя β , можно вычислить величину n . Метод можно применять при условии монохроматичности светового пучка.

Наиболее широкое распространение при конструировании промышленных рефрактометров получил метод измерения отклонения светового пучка, проходящего систему призм (рис. 2).

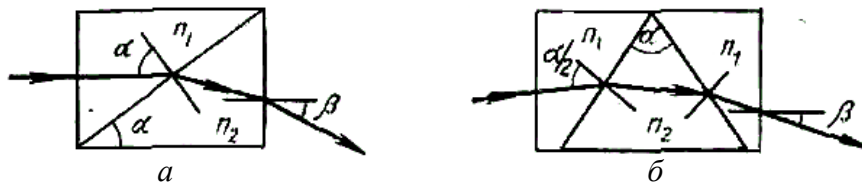


Рис.2. Ход лучей через систему призм в рефрактометре:
а – с двумя призмами; б – с системой трех призм

Рефрактометры с системой призм получили название дифференциальных рефрактометров.

Из рефрактометров, основанных на методе призмы, можно выделить:

1. Рефрактометр Хильгер – Ченс. Основным элементом прибора является V-образный призмный блок из двух тщательно отполированных

и посаженных на оптический контакт 45–90–45-градусных призм. В образуемую этими призмами прямоугольную область помещается образец жидкости в кювете, которая вместе с призмами блока образует систему из трех призм. В промышленных рефрактометрах данного типа возможно измерение показателя преломления в диапазонах $1,2 \div 1,7$; $1,5 \div 2$; $1,9 \div 2,4$ с точностью $1 \div 2 \cdot 10^{-5}$.

2. Микрорефрактометр Джелли. Этот тип прибора является одним из самых простых и дешевых из существующих рефрактометров. Прибор позволяет производить измерения показателей преломления очень малых количеств жидкостей (менее 10^{-4} мл) с точностью до $1 \div 2 \cdot 10^{-3}$. Микрокапля жидкости помещается в миниатюрную кювету, образуемую прижатом к небольшой стеклянной пластинке покровным стеклом (толщиной 0,2 мм), один край которого скошен под углом 45° . Сошлифованный край покровного стекла с нанесенной на него жидкостью образует систему из двух 45-градусных призм.

Выпускаемая фирмой Лейтц модель имеет две сменные призмы и, соответственно, две шкалы, охватывающие интервал $n = 1,33 \div 1,92$ и $1,61 \div 2,35$ с точностью до $1 \cdot 10^{-3}$.

Рефрактометры, основанные на методе предельного угла. Луч, падающий из среды с большим показателем преломления на границу раздела со средой с меньшим показателем преломления под углом, большим предельного, не преломляется, а полностью отражается (полное внутреннее отражение).

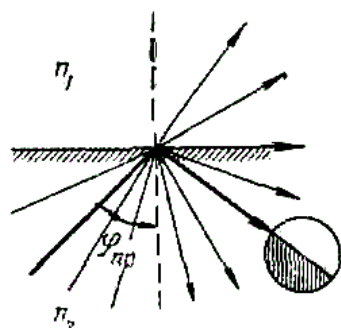


Рис.3. Способ наблюдения предельного угла

Величина предельного угла на границе двух веществ зависит только от показателей преломления этих веществ. Следовательно, если известен показатель преломления одного вещества, то показатель преломления другого вещества можно определить, измерив предельный угол. Удобство этого способа состоит в том, что требуется измерение только одного угла.

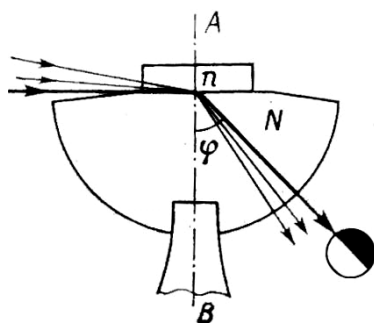


Рис.4. Ход лучей при измерении предельного угла на грани полусферы

Существует несколько вариантов метода предельного угла:

1. Способ стеклянной полусферы. В этом варианте метода предельного угла свет преломляется не на гранях призмы, а на грани стеклянной полусферы с высоким показателем преломления. Измеряемое тело приводится в оптический контакт с плоской поверхностью полусферы и освещается пучком лучей, скользящих вдоль грани (рис. 4).

2. Способ призмы с цилиндрической гранью. Прямоугольная призма, гипотенузная грань которой имеет форму вогнутой цилиндрической поверхности, находится в контакте с жидкостью. Если поверхность раздела призмы и жидкости освещать через одну плоскую грань, а рассматривать через другую, то будет наблюдаться граница полного внутреннего отражения, положение которой определится формой призмы и значением предельного угла.

Призма с вогнутой цилиндрической поверхностью может быть вмонтирована в стенку трубопровода и служить датчиком проточного рефрактометра, не мешающего току жидкости.

3. Способ плоскопараллельных пластинок. Две прозрачные плоскопараллельные пластинки A_1 и A_2 (рис. 5) склеены по краям таким образом, что между ними имеется тонкая прослойка воздуха B . Обе пластинки погружены в жидкость в сосуде с окнами O_1 и O_2 . Пластины можно поворачивать в жидкости вокруг вертикальной оси, перпендикулярной к плоскости рисунка, измеряя угол их поворота. При определенном угле поворота наступит полное внутреннее отражение и будет наблюдаться граница темного и светлого полей. Резкость границы зависит от толщины воздушной прослойки, которую подбирают опытным путем.

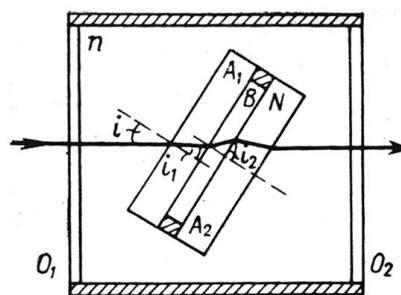


Рис.5. Измерение показателя преломления способом плоскопараллельных пластинок

Рефрактометры типа Пульфриха. Рефрактометр Пульфриха является одним из основных приборов, применяемых для исследовательских работ в области химических приложений рефрактометрии. Характерной его особенностью является использование источников света с линейчатым спектром и измерительных призм с преломляющим углом 90° .

Для измерения показателей преломления жидкостей к входной (верхней) грани призмы приклеивается стеклянный стаканчик, в который наливается исследуемая жидкость (рис. 6). Края верхней грани призмы сошлифованы по сфере, так что входная грань имеет форму круга, радиус которого несколько меньше внутреннего радиуса стаканчика. Нижняя часть стаканчика также имеет сферический шлиф, притертый по сферической части призмы. При такой конструкции призмы и кюветы скользящие по входной грани лучи проходят выше места склейки кюветы и не искажаются слоем клея.

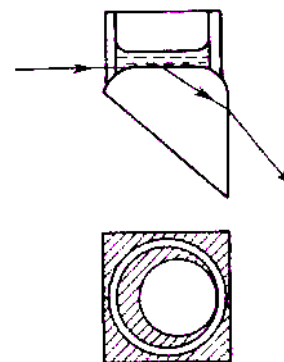


Рис.6. Кювета для работы с жидкостями

Различные типы рефрактометров типа Пульфриха с различными призмами обеспечивают диапазон показателей преломления $1,25 \div 2,15$ с точностью $10^{-4} \div 10^{-5}$.

Существенными недостатками рефрактометров типа Пульфриха является то, что для измерения необходимо затемнение, поэтому измерение проводят в теневой части лаборатории; кроме того, при работе с жидкостями необходимо тщательное термостатирование.

Рефрактометры типа Аббе. Созданный более ста лет тому назад этот тип рефрактометров, благодаря остроумным конструктивным решениям, предельно упрощающим технику измерений, открыл возможность широкого применения рефрактометрии и до сих пор остается наиболее распространенным.

Особенности рефрактометров Аббе заключаются в устройстве измерительной призмы, наличии дополнительной, так называемой осветительной призмы, использовании для измерений «белого» (дневного или искусственного) света и в конструкции шкалы. Прибор имеет измерительную призму из тяжелого флинта с преломляющим углом около 60° . Капля измеряемой жидкости помещается на гипотенузную (входную) грань этой призмы и прижимается вспомогательной (осветительной) призмой так, что между гипотенузными гранями обеих призм остается очень тонкий ($0,1—0,2$ мм) слой жидкости (рис. 7). Направленный на вспомогательную призму свет поступает в жидкость, преломляется на границе с воздухом и попадает в зрительную трубу. Из рис. 7 видно, что при таком способе освещения жидкости нельзя получить лучи, строго скользящие по входной грани измерительной призмы. Однако, так как слой жидкости очень тонок, то наблюдаемый в такой системе граничный луч в требуемых пределах точности соответствует предельному лучу полного внутреннего отражения.

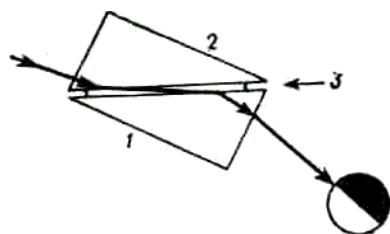


Рис.7. Схема призм рефрактометра Аббе:

1 – измерительная призма; 2 – осветительная призма;
3 – слой исследуемой жидкости

Гипотенузная грань осветительной призмы делается матовой, чтобы наблюдению граничной линии не мешали изображения предметов, находящихся вблизи от источника света и случайно попадающих в поле зрения трубы. Сорт стекла и величина углов осветительной призмы не имеют значения.

Призменный блок Аббе представляет собой простую конструкцию, обеспечивающую точные измерения и надежное термостатирование при весьма малых количествах жидкостей ($0,05$ мл).

Другая существенная особенность рефрактометра Аббе состоит в использовании для измерений белого света. При наблюдении полного внутреннего отражения в белом свете вследствие дисперсии вместо резкой границы светотени получается размытая радужная спектральная полоса.

Для устранения этого эффекта служит компенсатор дисперсии, устанавливаемый перед объективом зрительной трубы.

Основная деталь компенсатора — так называемая призма прямого видения, или призма Амичи. Призма Амичи — сложная, она склеена из трех призм (рис. 8): двух крайних из крона и средней из флинта. Эти призмы подобраны с таким расчетом, чтобы желтые лучи D проходили через всю систему призм, не изменяя своего направления. При этом лучи красного конца спектра отклоняются на некоторый угол в сторону от направления желтых лучей, а зеленые, синие и фиолетовые лучи — в противоположную сторону на различные углы в зависимости от длины волны.

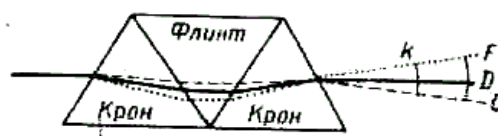


Рис.8. Призма Амичи

Рефрактометры типа Аббе с различными призмами обеспечивают диапазон показателей преломления $1,2 \div 1,85$ с точностью $1 \div 3 \cdot 10^{-4}$. Прецизионные рефрактометры типа Аббе измеряют n в диапазоне $1,3 \div 1,7$ с точностью $4 \cdot 10^{-5}$.

Лазерные интерференционные рефрактометры. Среди большого разнообразия методов и средств рефрактометрии особо выделяется класс лазерных интерференционных рефрактометров (ЛИР) [3], обеспечивающих прецизионное измерение и контроль показателей преломления оптически прозрачных сред и использующихся для проведения физических экспериментов, химических и биохимических исследований, океанографических и дальнометрических измерений, контроля качества оптических материалов, для создания первичных и вторичных эталонов для метрологической аттестации обычных рефрактометрических средств и т.д. Прецизионный характер лазерных методов рефрактометрии определяется тем, что они прямо или косвенно базируются на эталоне длины, в роли которого используют длину волны лазерного излучения. Следует, однако, иметь в виду, что в интерференционной рефрактометрии измеряемым параметром всегда является изменение оптической разности хода в исследуемой среде, которая может возникать как вследствие изменения показателя преломления, так и вследствие изменения геометрических параметров этой среды. Поэтому добиться прецизионности измерений можно только в условиях стабилизации этих параметров или их адекватного контроля.

Типы использующихся в настоящее время ЛИР весьма многообразны: от простых одноканальных двухлучевых схем до сложных систем многоканальных и многолучевых интерферометров. Методы измерения абсолютных показателей преломления жидкостей разделяются на две группы [3]: первая связана с контролем традиционных неизолированных сред, т.е. с решением задачи, часто возникающей при проведении разного рода исследований; другая группа связана с контролем жидкостей, носящих принципиально изолированный характер, например, в жидких средах

технологических установок, в продуктах вредных производств и в потоках жидкости.

Наиболее предпочтительным для осуществления традиционных измерений абсолютных показателей преломления жидкости является метод перемещения, опирающийся на применение многоканальных интерферометров майкельсоновского типа. При контроле изолированных сред для решения специфических задач могут с успехом использоваться поляризационные или двухчастотные методы контроля, однако наибольшим спектром возможностей в этом плане обладает компенсационный метод, применение которого не связано с введением ограничений на размеры исследуемой среды и на характер калибровки эталонной среды.

Точность измерения большинства ЛИР $10^{-4} \div 10^{-5}$, при использовании компенсационного метода – $2 \cdot 10^{-6}$. Этот факт, а также выводы относительно хороших возможностей компенсационного метода в условиях контроля протяженных изолированных сред, делают данный метод и соответствующую систему ЛИР весьма удобными для проведения исследований, в частности, для прецизионного исследования стационарных и нестационарных протяженных потоков жидкости.

Так как в ЛИР измеряется разность показателей преломления эталонной и измеряемой жидкостей, диапазон измеряемых показателей преломления зависит от набора эталонных жидкостей.

Рефрактометры, использующие методы, основанные на исследовании отраженного света. В отличие от методов, описанных выше, исследование интенсивности и поляризации света, отраженного от границы раздела сред, открывает возможность измерения показателей преломления неоднородных, анизотропных и сильнопоглощающих сред, тонких пленок и поверхностных слоев (ПС). При этом, как правило, не требуется специальной подготовки образца, размеры его ограничиваются только конструкцией приборов, а локальность измерений (на участках не более 10×10 мкм) позволяет изучать топографию исследуемой поверхности. Со специальными камерами и кюветами можно проводить бесконтактные измерения лабильных и легко изменяющихся поверхностей в инертных средах или вакууме.

Фотометрические методы основаны на зависимости коэффициента отражения света от показателя преломления среды. Обычно используется внутреннее отражение, позволяющее получить более высокую чувствительность, чем при внешнем отражении. Наибольшая чувствительность наблюдается вблизи критического угла. Здесь легко обеспечивается чувствительность измерения показателя преломления $10^{-4} \div 10^{-5}$. Для очень узких диапазонов измерения показателя преломления (до 10^{-5}) и угле падения, достаточно близком к критическому, удастся достичь чувствительности $10^{-7} \div 10^{-8}$. Что касается погрешности измерения оптических постоянных, то указанные значения практически недостижимы; обычно они составляют не менее 10^{-4} .

Часто с целью еще большего повышения чувствительности используется многократное отражение света. Чувствительность в этом случае возрастает пропорционально числу отражений.

Измерительные элементы однократного отражения (рис. 9) имеют полусферическую (полуцилиндрическую) или призматическую форму. Элементы многократного отражения выполняются в виде прямых или изогнутых цилиндрических стержней, плоских пластин или конических стержней. Последние позволяют повысить чувствительность и расширить диапазон измерения. Достоинством изогнутых элементов является возможность измерения погружным способом и реализации портативных рефрактометров. Их недостаток – необходимость эмпирической калибровки, так как теоретический расчет в изогнутом световоде затруднен.

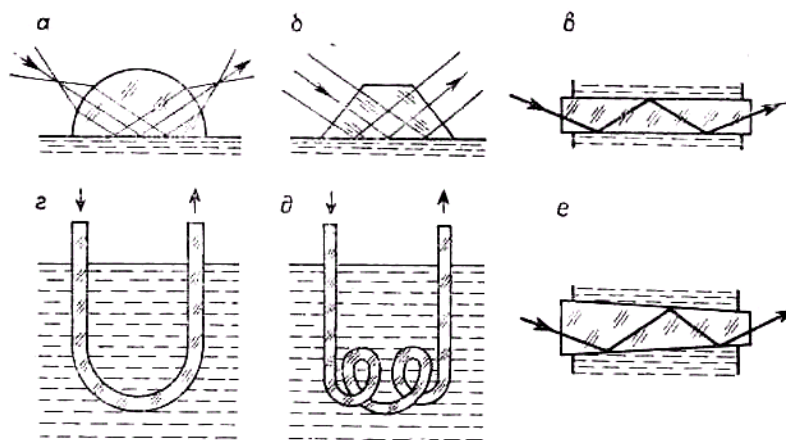


Рис.9. Различные типы измерительных элементов фотометрических рефрактометров: а – полусферический (полуцилиндрический); б – призматический; в – прямой цилиндрический стержень; г, д – изогнутый цилиндрический стержень; е – конический стержень

На практике применяется дифференциальная схема измерения с двумя стержнями (или призмами), контактирующими соответственно с образцовой и исследуемой средами.

Проточные автоматические рефрактометры. Для характеристик проточных рефрактометров недостаточно критериев чувствительности, точности, диапазона измерений. Необходимо ввести дополнительные параметры, определяющие возможности и условия точного воспроизведения кривых зависимости показателей преломления от объема протекающей жидкости или от времени. Таким дополнительным параметром является прежде всего объем кюветы. С ним связано понятие объемной разрешающей способности – предельного числа независимых измерений показателя преломления, которые могут быть произведены в 1 мл протекающего раствора [2].

Для непрерывной автоматической регистрации показателей преломления чаще всего используются дифференциальный гониометрический метод, методы полного внутреннего отражения и фотометрический и реже – интерференционный метод.

По принципу осуществления автоматических измерений регистрирующие проточные рефрактометры подразделяются на приборы прямого отсчета и компенсационные (рис. 10). В первых изменение состояния светового потока после прохождения рефрактометрической кюветы (изменение его направления, интенсивности или разности хода) посредством фотоприемного устройства трансформируется в электрический сигнал, амплитуда или фаза которого характеризуют величину показателя преломления. После соответствующего преобразования (усиление, определение фазы) сигнал регистрируется электроизмерительным устройством, подается на самописец или цифропечать. Особенностью рефрактометров прямого отсчета является необходимость обеспечения стабильности работы источника света и приемно-усилительной схемы. По этой причине они чаще применяются в лабораториях, где легче удовлетворить указанным требованиям.

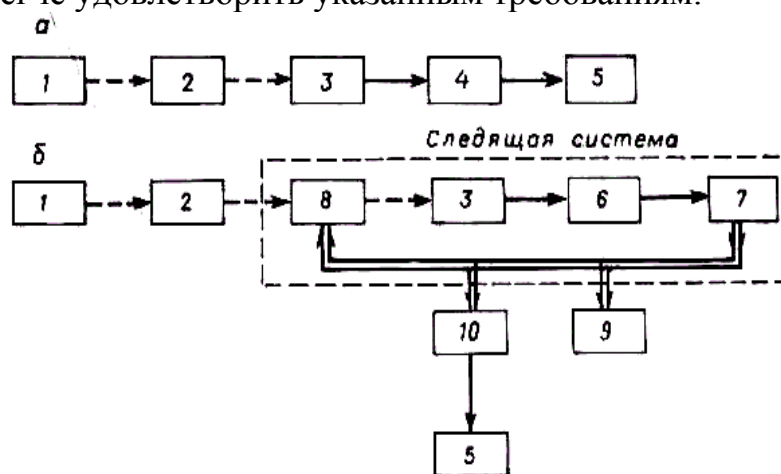


Рис. 10. Блок-схема автоматических рефрактометров:

а — прямого отсчета; б — компенсационного отсчета; 1 — источник света; 2 — кювета; 3 — фотоприемное устройство; 4 — преобразователь; 5 — самописец; 6 — фазочувствительный усилитель; 7 — двигатель; 8 — компенсатор; 9 — шкала; 10 — реохорд; — — — — оптические связи, ————— электрические, ===== механические

В производственных условиях более удобны рефрактометры компенсационного типа. В них электрический сигнал фотоприемного устройства автоматически отрабатывается до нулевого значения с помощью электромеханической следящей системы и компенсатора, величина перемещения которого пропорциональна измеряемому n . Компенсация осуществляется обычно в оптическом канале, однако иногда она производится в электрической схеме.

Автоматические дифференциальные рефрактометры имеют систему полых призм, заполненных сравниваемыми жидкостями. Различные модели таких рефрактометров отличаются конструкцией кювет, способами регистрации отклонения лучей или осуществления компенсации, а также способами изменения диапазона измерения.

Различные типы промышленных автоматических рефрактометров обеспечивают измерение показателей преломления жидкостей с точностью $10^{-4} \div 10^{-5}$.

Портативные (погружные) рефрактометры. Погружной рефрактометр (рис. 11) – один из наиболее универсальных и точных из рассматриваемых рефрактометров. Прибор был сконструирован на рубеже XIX и XX вв. Пульфрихом и доведен до его современного вида Лёве.

Измерительная призма погружного рефрактометра имеет вид косо срезанного цилиндра и во время работы погружается в стакан с исследуемой жидкостью – отсюда название прибора. Связанное с этим значительное увеличение объема образца в ряде случаев (например, в производственных условиях) не имеет значения. Зато удаление осветительной призмы позволяет строго соблюсти условие наблюдения предельного луча, и граница светотени получается более резкой, что способствует повышению точности измерений.

Измерительная призма укрепляется непосредственно на нижнем конце зрительной трубы. Положение предельного луча определяется при помощи стеклянной шкалы, расположенной в фокальной поверхности объектива трубы и наблюдаемой в окуляр одновременно с граничной линией.

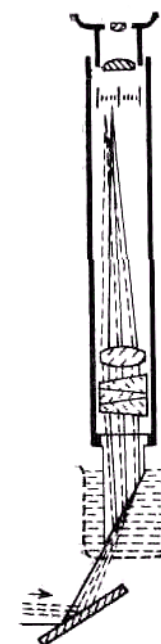


Рис.11. Схема действия погружного рефрактометра

Измерения ведутся в белом свете. Для устранения цветной каемки у граничной линии имеется компенсатор, состоящий из одной призмы Амичи с угловой дисперсией $45'$. Компенсатор можно поворачивать в пределах 80° , добиваясь устранения цветной каймы. Разность углов выхода лучей, соответствующая концам окулярной шкалы, составляет всего около 5° , что отвечает строго ограниченными интервалами показателей преломления, зависящим от сорта стекла и величины преломляющего угла измерительной призмы.

Погружные рефрактометры комплектуются 6-12 призмами, каждая из которых охватывает интервал $n \approx 0,03 \div 0,04$, а весь комплект позволяет измерять достаточно широкие пределы – от 1,325 до 1,647. Точность измерения показателя преломления у таких рефрактометров – $2 \div 4 \cdot 10^{-5}$.

Термостатирование при работе с погружными призмами осуществляется выдерживанием стаканчиков с жидкостями в специальных водяных банях с зеркалами для направления света и гнездами для помещения одновременно нескольких проб. В эти же бани погружаются и насадки с вспомогательными призмами для работы с малыми количествами жидкостей. Такие бани-термостаты без терморегуляторов эффективны лишь при температурах, близких к комнатной. Из этих соображений нормальная рабочая температура для погружных рефрактометров принята равной $17,5^\circ\text{C}$. Если рабочая температура значительно отличается от комнатной, то в открытых стаканчиках возможны градиенты температуры в направлении к поверхности испарения, приводящие к снижению четкости границы и точности измерений.

Существуют и более надежные способы термостатирования [2]. Существуют также проточные кюветы для погружных рефрактометров для непрерывного контроля технологических процессов [2].

Рефрактометр с U-образно изогнутым стеклянным световодом. Использование в качестве чувствительного элемента датчика плотности световода с изгибом обеспечивает высокую чувствительность, малые размеры и массу, дистанционность и ряд других преимуществ [4]. Однако серьезным недостатком существующих датчиков со стержневым рефрактометрическим элементом, выполненным в виде U-изогнутого световода, является невысокая стабильность (временная и температурная) характеристики преобразования.

Для компенсации и устранения указанных недостатков в [5] был предложен рефрактометрический датчик с улучшенными характеристиками, что достигается введением ряда новых блоков. В их числе:

- схема стабилизации потока излучения светодиода с помощью отрицательной обратной связи;
- опорный (сравнительный) канал, сигнал которого вычитается из измеряемого;
- импульсный режим источника излучения и фотоприемника;
- автоматическая компенсация темновых токов;
- блок измерения температуры контролируемой жидкости.

Светопропускание световода U-образной формы описывается достаточно сложной моделью из-за необходимости учета отличий коэффициентов светопропускания изогнутого и прямого участков (рис. 12).

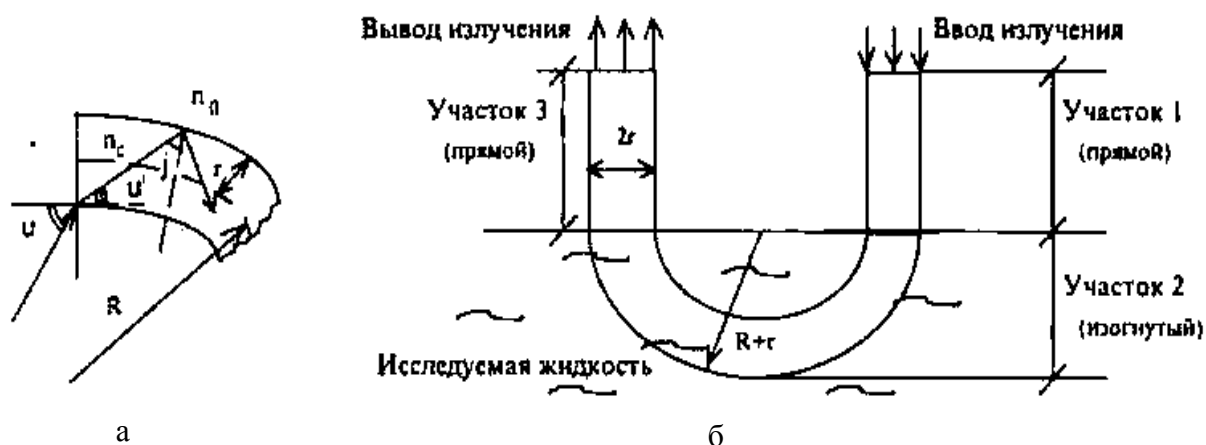


Рис.12. Прохождение меридионального луча по изогнутому световоду:
а – отражение лучей в изогнутом световоде; б – U-образный чувствительный элемент рефрактометрического датчика

Представим светопропускание датчика T через коэффициенты светопропускания его участков [6]:

$$T = t_1 (t_2^{\text{прямой}} \tau) t_3, \quad (2)$$

где t_1, t_2, t_3 – коэффициенты светопропусканий различных участков датчика (1,3 прямых и 2 - изогнутого); $\tau = \frac{\Phi_U}{\Phi}$ – относительная светосила.

Светопропускание отдельного прямого участка с учетом меридиональных и косых лучей имеет вид [6]

$$t = 2\pi \int_{u'=0}^{U'_M} \int_{Y=0}^{\pi/2} t' I(u') \rho^\eta \exp\left(\frac{-k' L}{\cos u'}\right) \sin u' \cos^2 Y dY du', \quad (3)$$

где U'_M – апертурный угол после преломления материалом волокна; Y – угол между плоскостью падения косого луча и поперечным срезом волокна; t' – коэффициент светопропускания входного и выходного торцов; $I(u')$ – функция распределения светового потока внутри световедущей жилы; ρ – коэффициент внутреннего отражения луча от поверхности жилы/окружающая среда; $\eta = L \operatorname{tg} u' / D \cos Y$ – число полных внутренних отражений луча при прохождении по волокну (D – диаметр световода, L – длина световода); k' – показатель поглощения материала волокна.

Используя соотношения (2) и (3), получим окончательное выражение для расчета полного коэффициента светопропускания рефрактометрического элемента и функции преобразования датчика плотности $\rho_{\text{ж}} = F(T, \tau, M/\Phi_p)$.

Такая модель позволяет произвести косвенное измерение плотности (концентрации) жидкости по светопропусканию стержневого световода.

Из литературы известны и другие формы световодного чувствительного элемента: прямая, в виде петли и спирали [7,8].

3. Анализ основных типов рефрактометров

Проанализируем все рассмотренные типы рефрактометров на удовлетворение требованиям со стороны системы контроля и управления качеством продукции, перечисленным вначале.

Сравнительная характеристика различных методов измерения плотности представлена в таблицах 1,2.

Таблица 1

Основные метрологические характеристики рефрактометров различного типа

Типы рефрактометров	Характеристика	
	Диапазон измерения	Погрешность
1	2	3
Рефрактометры, основанные на методе призмы	1,2÷2,4	$1 \cdot 10^{-3}$
Рефрактометры, основанные на методе предельного угла	определяется измерительным элементом	10^{-5}
Рефрактометры типа Пульфриха	1,25÷2,15	$10^{-4} \div 10^{-5}$
Рефрактометры типа Аббе	1,2÷1,85	$1 \div 3 \cdot 10^{-4}$
	1,3÷1,7	$4 \cdot 10^{-5}$

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Лазерные интерференционные рефрактометры	определяется измерительным элементом	$10^{-5} \div 10^{-6}$
Рефрактометры, использующие методы, основанные на исследовании отраженного света	определяется измерительным элементом	$10^{-4} \div 10^{-5}$
Проточные автоматические рефрактометры	определяется методом измерения	$1 \cdot 10^{-4} \div 0,5 \cdot 10^{-5}$
Портативные (погружные) рефрактометры	1,325 ÷ 1,647	$2 \div 4 \cdot 10^{-5}$
Рефрактометр с U-образно изогнутым стеклянным световодом в качестве чувствительного элемента	определяется чувствительным элементом	определяется чувствительным элементом

Таблица 2

**Анализ соответствия рефрактометров различного типа
предъявленным требованиям**

Типы рефрактометров	Основные характеристики				
	Автономность / портативность	Необходимость термостатирования	Автоматическая регистрация	Возможность связи с ЭВМ	Возможность работы с потоками жидкости (проточные)
Рефрактометры, основанные на методе призмы	—	+	—	—	+
Рефрактометры, основанные на методе предельного угла	—	+	—	—	+
Рефрактометры типа Пульфриха	—	+	—	—	+
Рефрактометры типа Аббе	—	+	—	—	+
Лазерные интерференционные рефрактометры	—	+	—	—	—
Рефрактометры, использующие методы, основанные на исследовании отраженного света	—	+	—	—	+
Проточные автоматические рефрактометры	—	+	+	+	+
Портативные (погружные) рефрактометры	+	+	—	—	+
Рефрактометр с U-образно изогнутым стеклянным световодом в качестве чувствительного элемента	+	—	+	+	+

Выводы

На основании проведенного анализа определено следующее:

1. Диапазон измерения и погрешность практически всех типов рефрактометров удовлетворяют выдвинутому требованиям.
2. Почти все типы рефрактометров (кроме лазерных интерференционных) имеют возможность работы с потоками жидкостей.
3. Неавтоматические визуальные рефрактометры не могут быть использованы в автоматизированной системе контроля и управления качеством.

вом, так как они не имеют возможности передачи измерительной информации и требуют участия оператора в процессе измерения. Поэтому в дальнейшем анализе эти рефрактометры можно не рассматривать.

4. Проточные автоматические рефрактометры имеют возможности автоматической регистрации результатов измерений и соединения с управляющей ЭВМ, но необходимость тщательного термостатирования и стационарная конструкция делают их непригодными для рассматриваемой автоматизированной системы.

Из всего вышеперечисленного следует, что лучше других рефрактометров требованиям системы управления соответствует рефрактометр с U-образно изогнутым стеклянным световодом в качестве чувствительного элемента.

Литература

1. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика. – М: Государственное изд-во физ.-матем. лит-ры, 1961. – С. 677-699.
2. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. 3-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1983. – 352 с.
3. Мищенко Ю.Б., Ринкевичюс Б.С. Методы и средства лазерной интерференционной рефрактометрии // Измерительная техника. – 1993. – № 3. – С. 13-18
4. Jahn J.-U., Haubenreißer W., Willsch R. Faseroptischer Refraktomet-Sensor und seine Anwendungen // MSR – 1986. – № 9. – S. 408-410.
5. Никитенко Н.Ф., Савин Д.Д., Афонин О.В., Кучеров В.А. Улучшение метрологических характеристик рефрактометрического датчика плотности жидкости // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 1997. – № 3. – С. 11-14.
6. Афонин О.В., Никитенко Н.Ф. Рефрактометрический датчик плотности жидкостей с U-образным световодом // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 1997. – № 1. – С. 3-8.
7. Сенсоры в контрольно-измерительной технике / П.М. Таланчук, С.П. Голубков, В.П. Маслов и др. – Киев:Тэхника, 1991. – 175 с.
8. Highly-sensitive passive integrated optical spiral-shaped waveguide refractometer / G.J. Veldhuis, P.V. Lambeck // Appl. Phys. Lett. – 1997. – 71, №20. – С. 2895-2897.

346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ИИМТ, т. 8-(86352)-55-2-14. E-mail: Chebanoff@rambler.ru

УДК 534.6:620.168.2

К ВОПРОСУ О МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ СООТНОШЕНИЯ «НАПОЛНИТЕЛЬ – СВЯЗУЮЩЕЕ»

Б.А. Диденко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Проведен анализ методической погрешности непрерывного ультразвукового контроля массового содержания связующего вещества в неотвержденном углеродном композиционном материале. Показана необходимость исключения из результатов измерений погрешности, вызванной отклонением физических характеристик наполнителя от номинальных значений.

Для определения границы методической погрешности измерения содержания связующего вещества в неотвержденном углеродном композиционном материале (КМ) ультразвуковым методом проведен ориентировочный расчет. Композиционный материал включает в себя углеродные нити УКН-5000 (наполнитель) и связующее вещество ЭХД-МД. Содержание связующего в материале может изменяться от 20 до 50% по массе.

Физические характеристики углеродной нити УКН-5000:

модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^{11} \pm 0,3 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$,

удельная плотность $\rho_1 = 1,75 \cdot 10^3 \pm 0,4 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$,

линейная плотность $\mu = 410 \pm 10 \text{ текс} = 4,1 \cdot 10^{-4} \pm 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}$.

Физические характеристики связующего вещества:

коэффициент всестороннего сжатия $K = 3,8 \cdot 10^9 \pm 0,5 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$,

удельная плотность $\rho_2 = 1,2 \cdot 10^3 \pm 0,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Зависимость массового содержания связующего вещества в неотвержденном КМ y_c от скорости распространения в нем ультразвуковых колебаний c имеет нелинейный вид [1]:

$$y_c = \frac{c^2 - E/\rho_1}{K/\rho_2 - E/\rho_1} \cdot 100\%,$$

где E – модуль упругости армирующей нити; K – коэффициент всестороннего сжатия связующего вещества; ρ_1 – удельная плотность нити; ρ_2 – удельная плотность связующего вещества.

Скорость распространения ультразвуковых колебаний в КМ вычисляется по измеренному времени t прохождения волной акустической базы l .

По общепринятой методике [2] получены составляющие абсолютной погрешности, возникающие вследствие отклонения характеристик отдельных компонентов КМ от номинальных значений. Результаты расчета сведены в таблицу.

Таблица

Результаты расчета составляющих методической погрешности, %

Погрешность	$\frac{\partial y_c}{\partial E} \Delta E$	$\frac{\partial y_c}{\partial \rho_1} \Delta \rho_1$	$\frac{\partial y_c}{\partial K} \Delta K$	$\frac{\partial y_c}{\partial \rho_2} \Delta \rho_2$
y_c				
25	11	1,8	0,1	0,1
40	8,8	1,4	0,2	0,1
55	6,6	1,1	0,3	0,2

Как видно из таблицы, наибольшая методическая погрешность возникает при колебаниях модуля упругости и удельной плотности нити. Разброс значений этих параметров в различных партиях материала приводит к недопустимо большой погрешности измерения содержания связующего вещества. Поэтому для уменьшения этой погрешности введена специальная операция «установка начальных условий», которая включает в себя

измерение скорости распространения ультразвуковых колебаний в непропитанных нитях и расчет точного значения отношения E/ρ_1 по формуле

$$E/\rho_1 = (l/t)^2,$$

где t – время прохождения волной акустической базы; l – длина акустической базы.

Характеристики нити в одной партии имеют приблизительно постоянные отклонения от номинальных значений, поэтому допустимо производить установку начальных условий перед началом изготовления изделия при подготовке намоточного станка к работе. Однако наилучшие результаты могут быть получены при непрерывном измерении характеристик непропитанных нитей, что достигается введением в устройство измерения дополнительного измерительного канала. В результате расчета установлено, что при введении операции установки начальных условий составляющая абсолютной погрешности измерения массового содержания связующего в КМ, вызванная отклонением характеристик входящих в него компонентов, не превышает 0,2% в начале диапазона и 0,5% в конце диапазона измерения.

Литература

1. Маринин В.И., Диденко Б.А. Измерение процентного содержания связующего в углеродных армирующих нитях // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, 8 фев. 2001 г.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: НАБЛА, 2001. – Ч. 1. – С. 30-35.
2. Новицкий П.В., Зиграф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-295.

УДК 531.383

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЖИДКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ НЕГОРИЗОНТАЛЬНОСТИ

А.В. Есинов

Орловский государственный технический университет

Рассмотрены вопросы применения датчиков негоризонтальности, условия их работы на реальных объектах, проанализированы методы построения датчиков негоризонтальности, рассмотрены методы построения ультразвуковых жидкостных датчиков негоризонтальности, проведен анализ динамических характеристик и их сравнение с известными аналогами.

Во многих как специальных, так и общепромышленных задачах возникает необходимость динамических измерений углов негоризонтальности. Так одной из актуальных задач является измерение поперечной негоризонтальности уложенного железнодорожного пути при его исправле-

нии подбивочно-выправочными машинами. При этом частоты изменения углов негоризонтальности с учетом места установки прибора не превышают 0,5 Гц (в перспективе 1 Гц), а максимальный угол не превышает 1° при допустимой негоризонтальности $\pm 4,6$ угловой минуты. Измерение негоризонтальности осуществляется в условиях трехкомпонентной вибрации с амплитудой ускорения (5...8)g с частотой до 33 Гц по каждой компоненте, создаваемой рабочими органами машин. Датчики негоризонтальности могут работать в составе контура автоматического управления процессом выправки на дорожных машинах.

Другой важной сферой применения датчиков негоризонтальности является измерение морского волнения для целей гидростроительства, океанологии, морской геологии, судостроения и мореплавания. В волномерных буйках определение двухмерного спектра осуществляется на основе измерения углов волнового склона. При этом при измерении развитого волнения значительной интенсивности максимальная частота измеряемых углов имеет порядок единиц герц, а при измерении малого волнения частоты лежат в диапазоне от нескольких сотых до 0,5 Гц.

Таким образом, к датчикам негоризонтальности, работающим в динамическом режиме, предъявляются высокие требования по чувствительности, полосе пропускания частот, амплитудной и фазовой ошибкам, а также по виброустойчивости.

В датчиках прямого измерения за базовую линию отсчета принимается вертикаль, либо горизонталь физического маятника. При этом маятник может быть механическим, жидкостным или пузырьковым. В свою очередь среди датчиков с механическим маятником можно выделить датчики с одной и с несколькими точками подвеса, а среди жидкостных датчиков соответственно – датчики с одной жидкостью и с двумя несмешивающимися жидкостями.

В целом механические маятники характеризуются наличием сухого трения в подвесе, что ограничивает их порог чувствительности. Кроме того, известные реализации обладают большими габаритными размерами и массой, имеют большое фазовое запаздывание. Так, применяемый в настоящее время прибор ELT-133.0 фирмы Plasser&Theurer (Австрия) имеет габаритные размеры 350×145×415 мм, массу 30 кг, фазовое запаздывание в полосе частот до 0,5 Гц около 50° , а разработанные ТулГУ приборы ИН-1 и ИН-2 соответственно – 340×130×365 мм, 20 кг и 54° .

Жидкостные маятниковые датчики со свободной поверхностью, в том числе и пузырьковые, имеют низкую виброустойчивость, обусловленную волновым движением свободной поверхности жидкости при динамических возмущениях.

В связи с этим определенный интерес представляют датчики с двумя несмешивающимися жидкостями различной плотности, в которых горизонтальная поверхность раздела жидкости принимается за базовую поверхность отсчета. Для съема информации в них применяются оптический, с использованием электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), и емкостный методы.

Устройство с ЭЛТ имеет сложное схмотехническое решение, что приводит к увеличению габаритов прибора и существенному усложнению аппаратурной части, а следовательно, к снижению надежности. Анализ емкостного съема показывает его недостаточный порог чувствительности для указанных задач. Попытки уменьшения порога чувствительности приводят к резкому увеличению размеров самого датчика.

Таким образом, для дальнейшего улучшения технических характеристик приборов с прямым методом измерения необходим переход от механических маятников к жидкостным, что позволит улучшить динамические характеристики, уменьшить габаритные размеры и вес. Проблема съема информации может быть решена с помощью ультразвуковых методов измерения. Применение ультразвука позволяет, с одной стороны, сканировать состояние жидкостного маятника, не оказывая существенных воздействий на него, а с другой – обеспечить высокие метрологические характеристики.

В датчиках с ультразвуковым съемом информации граница раздела жидкостей используется в качестве отражателя ультразвука, который излучается и принимается с помощью двух пьезопреобразователей. При наличии негоризонтальности появляются угловые рассогласования между корпусом (пьезопреобразователями) и поверхностью раздела жидкостей. Данное решение позволяет создавать двухкоординатные датчики, измеряющие негоризонтальность одновременно относительно двух осей.

Ультразвуковой съем может быть организован путем создания бегущей или стоячей ультразвуковых волн. В первом случае информативным параметром является амплитуда сигнала, а во втором – как амплитуда, так и частота сигнала.

В целом рассмотренные датчики содержат корпус с полостью, заполненной двумя несмешивающимися жидкостями с различной плотностью, являющимися первичным преобразователем углов негоризонтальности между корпусом и базовой плоскостью отсчета (механическая подсистема) и встроенные вторичные ультразвуковые преобразователи выходных электрических сигналов (подсистема съема информации).

Очевидно, в силу преобладающей инерционности динамические характеристики такого датчика будут определяться динамикой его механической подсистемы. Поэтому была разработана и проанализирована математическая модель для датчика, установленного на основании, подверженного угловым колебаниям и трехкомпонентной линейной вибрации. Кроме того учитывалась высота L установки датчика на объекте.

Собственные частоты датчиков с цилиндрической (габаритные размеры 50×90×95 мм) и сферической (габаритные размеры $\varnothing 86 \times 100$ мм) полостью диаметром 60 мм, заполненной в равных частях ртутью и водой или различными маслами, составляет около 3 Гц, что в три раза выше, чем у прибора ELT-133.00, выпускаемого австрийской фирмой «Plasser&Theurer», с механическим маятником и габаритными размерами 350×145×415 мм, массой 30 кг.

Анализ математической модели показывает, что результирующее движение поверхности раздела жидкостей после затухания собственных колебаний есть вынужденные колебания, обусловленные колебаниями основания относительно средней линии, положение которой обусловлено вибрационным сдвигом. При этом датчик отслеживает колебания основания с отставанием по фазе и с амплитудными искажениями.

Вибрационный сдвиг имеет ту же природу, что и у физического маятника, и вызван вибрацией его оси относительно подвеса. Анализ показывает, что он приводит к появлению ложного сигнала и может быть устранен амортизацией прибора.

Фазовое запаздывание колебаний жидкостного маятника по отношению к колебаниям основания при безразмерной частоте, равной 0,5, для различных вариантов заполнения указанного датчика составляет от $0,005^\circ$ до $0,2^\circ$. В то же время для этого случая у прибора ELT-133.00 фазовый сдвиг равен 50° . При равенстве частот – соответственно от 4 до 33 и 90° .

Амплитудные искажения зависят от безразмерной частоты, смещения центра масс маятника, высоты L и от коэффициента демпфирования. Анализ показывает, что при установке датчика с $L \approx 0$ (например, на колесной тележке дорожной машины) последний измеряет колебания основания без амплитудных искажений.

Таким образом, помимо значительно меньших габаритных размеров и массы, жидкостные маятниковые датчики превосходят приборы с механическими маятниками и по некоторым частным динамическим характеристикам.

302005, г. Орел, ул. Циолковского, 37, e-mail: esipov@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Ланкин М.В. Процессорные измерительные средства испытания постоянных магнитов	4
Ланкин М.В. Тензорная методология построения моделей изменения магнитных характеристик	13
Антонов Ю.Н. Идентификация состояний элементов ГИС в процессе лазерной подгонки	25
Ланкин М.В. Программная реализация адаптивного алгоритма управления размагничивающим полем	26
Ланкин М.В., Соломенцев К.Ю., Валах Е.А. Управляемый источник тока	31
Никитенко Н.Ф., Чебанов И.Р. Рефрактометрические методы измерения плотности жидкости	35
Диденко Б.А. К вопросу о методической погрешности устройства контроля соотношения «наполнитель – связующее»	51
Есипов А.В. Динамические характеристики ультразвуковых жидкостных датчиков негоризонтальности	53

Научное издание

Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики

**Материалы III Международной научно-практической конференции
Часть 1**

Редактор: А.С. Лобова
Компьютерная верстка: М.К. Аверьянова

ИД № 05240, 02.07.2001 г. Подписано в печать 10.10.2002 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл. печ. л. 3,27. Уч.-изд. л. 2,64. Тираж 100 экз. Заказ 47-718.

ООО Научно-производственное объединение «ТЕМП»
346430, г. Новочеркасск, сп. Ермака, 44.

Центр оперативной полиграфии
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

**ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ
И ДИАГНОСТИКИ**

*Материалы
III Международной научно-практической
конференции*

Часть 2

*20 сентября 2002 года
г. Новочеркасск*

Новочеркасск 2002

УДК 681.518.54
ББК 30.82
Т 33

Организаторы конференции:

Министерство образования РФ;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
В.Н. Чернов (РФ), профессор

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора

Т 33 Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики:
Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск,
20 сент. 2002 г.: В 4 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Ново-
черкасск: ООО НПО «ТЕМП», 2002. – Ч. 2. – 56 с.

ISBN 5-94633-021-7

Материалы конференции вошли в сборник из четырех частей. Во вторую часть вошли статьи о теории, методах и средствах измерений и контроля концентраций, химического и структурного состава веществ и материалов; сил, вибрации и геометрических размеров; теории, методах и средствах радиоизмерений; цифровых методах и средствах измерений и обработки измерительной информации.

УДК 681.518.54

ISBN 5-94633-021-7

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2002
© Авторы, 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В сентябре 2002 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила III Международная научно-практическая конференция «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Орла, Ульяновска, Иркутска, Челябинска, Мурманской области, Омска, Златоуста, Тольятти, Владимира, Волгодонска, Новочеркасска, Шахт и Каменска.

На конференцию представлено 57 докладов, которые вошли в сборник, состоящий из четырех частей. Каждая часть содержит материалы по нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и контроля параметров магнитных, полупроводниковых и диэлектрических материалов; жидких многофазных сред; ультразвуковым методам и средствам измерений и контроля.

Во вторую часть вошли статьи о теории, методах и средствах измерений и контроля концентраций, химического и структурного состава веществ и материалов; сил, вибрации и геометрических размеров; теории, методах и средствах радиоизмерений; цифровых методах и средствах измерений и обработки измерительной информации.

Третья часть содержит доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и диагностики в медицине и биологии; вопросам метрологического обеспечения измерений, контроля и диагностики; теории, методам и средствам диагностики сложных технических систем; интеллектуальным средствам измерения; методам оценки состояния и перспектив развития предприятий, отраслей, комплексов.

В четвертую часть вошли доклады, освещающие вопросы экономической диагностики производственных и социальных систем.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

МЕТОД КОНТРОЛЯ МИКРОПОРИСТОСТИ

А.Н. Темников

Казанский государственный технологический университет

Предложен метод определения объема микропор, основанный на сравнительном анализе формы спадов поперечной намагниченности, регистрируемых с помощью импульсного релаксометра ЯМР в условиях равновесия и при частичном насыщении спиновой системы исследуемого образца.

Значительная часть материалов естественного и искусственного происхождения представляет собой пористые тела. Поэтому разработка надежных методов контроля параметров пористой структуры - важное направление как прикладных, так и фундаментальных исследований. Одним из современных методов количественного структурного анализа является метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР), который реализуется в двух разновидностях: ЯМР высокого разрешения и ЯМР релаксометрия.

В ЯМР высокого разрешения мерой количества вещества является площадь резонансного сигнала ядер исследуемого вещества, помещенного в постоянное магнитное поле. Объем микро-, мезо- или макропор, как правило, полагается равным объему жидкости (конденсируемого газа или пара), заполняющей поры соответствующего типа. В тех случаях, когда резонансные ядра содержатся в жидкости, заполняющей микропористый образец, наблюдается спектр ЯМР, состоящий из нескольких резонансных сигналов, один из которых соответствует жидкости, находящейся в микропорах. При этом объем микропор (микропористость) можно определить по величине площади данного сигнала.

Приборы ЯМР высокого разрешения дороги и громоздки; для работы на них и их обслуживания требуется высококвалифицированный персонал. Импульсные релаксометры ЯМР, напротив, относительно дешевы, просты по конструкции, но в то же время достаточно универсальны, что обусловило их широкое использование для экспресс-анализа и неразрушающего контроля во многих отраслях. К настоящему времени сформировался большой банк методик для определения различных характеристик материалов, и число таких методик постоянно расширяется. С помощью релаксометра ЯМР обычно регистрируют кривые спадов ядерной намагниченности, получаемые при воздействии на образец определенной последовательности радиочастотных импульсов и измерении амплитуд, возникающих при этом спиновых эхо. Анализ формы таких кривых позволяет получить информацию о фазовой структуре и морфологии образца.

На рис. 1 и рис. 2 представлены спектры ЯМР высокого разрешения и спады намагниченности, полученные для образца суспензии микропористого угля ФАС. Разделение спектра на составляющие его сигналы не представляет затруднений, при этом объем микропор определяется по площади правого пика. Анализ спада намагниченности не является однозначным:

монотонно спадающая кривая может быть представлена в виде суммы некоторого числа компонент, причем их количество, форма и длительность могут изменяться в широких пределах, но это практически не влияет на точность аппроксимации. Отметим, что в данном случае спад намагниченности не связан со спектром посредством фурье-преобразования.

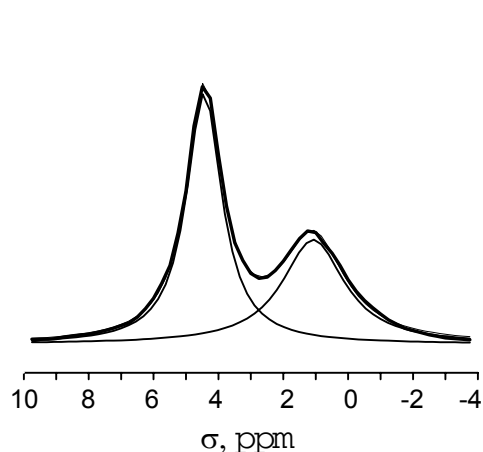


Рис.1. Спектр ЯМР высокого разрешения

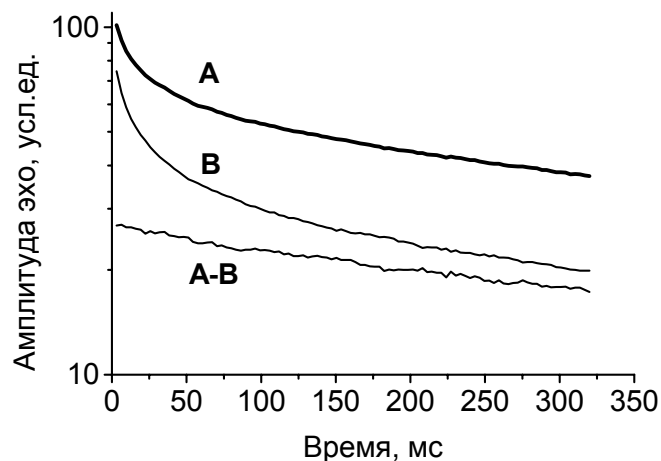


Рис.2. Затухание амплитуды эхосигнала

Для устранения неопределенности в выборе формы аппроксимирующих функций предлагается проводить совместный анализ кривых затухания поперечной намагниченности, регистрируемых в состоянии равновесия (рис. 2, кривая А) и при некотором насыщении спиновой системы образца (кривая В). Насыщение осуществляется путем сокращения интервала T между послылками импульсных последовательностей, воздействующих на образец. Если выполняется условие $5T_{1,\text{микро}} < T < 5T_{1,\text{мезо}}, 5T_{1,\text{макро}}$ (где T_1 - время спин-решеточной релаксации ядер в жидкости, заполняющей микро-, мезо- и макропоры), то величина и форма сигнала от жидкости в микропорах не изменится. При этом разность между сигналами, полученными в отсутствии насыщения и при насыщении, будет совпадать по форме с сигналом от жидкости в мезо- и макропорах (кривая А-В). Как видно на рис. 2, этот сигнал имеет форму близкую к экспоненте. Характерное время затухания (время спин-спиновой релаксации) равно 740 мс. С учетом этого был проведен анализ кривой А, определена доля объема образца, приходящегося на микропоры (0,40) и рассчитана микропористость. Ее величина ($1,0 \text{ см}^3/\text{г}$) практически совпала со значением, полученным стандартным методом по изотерме адсорбции паров азота ($1,1 \text{ см}^3/\text{г}$).

Предлагаемый метод разработан на основе исследований, проведенных при поддержке гранта № UC2-2418-KV-02 «U.S. Civilian Research & Development Foundation for the Independent States of the Former Soviet Union (CRDF)».

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Е.Е. Мельник

Орловский государственный технический университет

Кратко изложено назначение и принцип работы термоэлектрического устройства для контроля механической неоднородности твердосплавного инструмента.

Термоэлектрическое устройство для контроля механической неоднородности твердосплавного инструмента (ТЭКРИ) разработано для неразрушающего 100%-го дооперационного и межоперационного контроля качественного состояния режущих кромок. ТЭКРИ предназначена для обеспечения высокой надёжности технологического процесса обработки металлов резанием при проведении межоперационного контроля для определения остаточной стойкости, т. е. позволяет определять участки режущей кромки, находящиеся на грани износа, предупреждая выкрашивание, скол инструмента и появление брака обрабатываемой поверхности.

В основу принципа контроля положена зависимость изменения термоэлектрической чувствительности от структуры поверхностного слоя [1]. Путём локального нагрева исследуемой точки режущей кромки нагретым окончанием электрода образуется полустественная термопара, холодные концы электродов которой являются державка резца и охлаждаемый противоположный конец нагреваемого электрода. Для того, чтобы флуктуации температур контролируемой точки и свободных концов рассматриваемой термопары не влияли на результаты измерения, введён дополнительный электрод, образующего спай с нагреваемым электродом и, соответственно, измеряется отношение генерируемых термоЭДС полученными термопарами. Исследуя термоэлектрическую чувствительность по длине режущей кромки, можно выявить точки, термоэлектрическая способность которых значительно отличается от средней величины термочувствительности распределённой по исследуемому участку режущей кромки. Проведённые эксперименты показали, что выкрашивание материала на режущей кромке твердосплавного металлорежущего инструмента соответствует изменению термоэлектрической способности на 15-20%.

Литература

1. Лухвич А.А., Каролик А.С., Шарандо В.И. Структурная зависимость термоэлектрических свойств и неразрушающий контроль. – Мн.: Навука і тэхніка, 1990. – 192 с.

304020, г. Орел, ул. 60 лет Октября, д. 28, кв. 35, e-mail: pms@ostu.ru.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ УСТАЛОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

Д.А. Тупикин

Орловский государственный технический университет

Кратко обоснованы области и границы применимости термоэлектрического метода при контроле усталостных явлений в металлах.

Усталость металлов является сложным процессом, зависящим от большого количества факторов [1]. Поэтому любое аналитическое описание этого процесса обычно нуждается в экспериментальном уточнении. Одним из путей повышения точности является исследование изменений различных физических свойств материалов в результате усталости с целью выявления закономерностей и использования их для оценки степени усталостного разрушения. Однако невозможно посредством какого-либо одного фактора характеризовать весь процесс усталости. Необходимо оценивать границы применимости различных параметров и использовать их в комплексе, в зависимости от конкретных условий.

Как показывают исследования [2], термоэлектрические свойства имеют высокую чувствительность к изменению микроструктуры, плотности кристаллических дефектов, внутренним напряжениям кристаллической решетки металлов. Имеются экспериментальные исследования, указывающие на тесную связь термоэлектрических свойств с поверхностной микротвердостью. Также имеется большое количество исследований [3], указывающих на высокую чувствительность микротвердости к процессам накопления микроструктурной поврежденности. Это указывает на применимость термоэлектрического метода для контроля начальных этапов [3] усталости до начала образования микротрещин, что особенно актуально для деталей с высокой заданной долговечностью, поскольку они работают при напряжениях ниже предела усталости, а в таких условиях период трещинообразования имеет очень малую относительную длительность [1].

Также возможно применение метода при опытно-конструкторских разработках – для выявления зон концентрации напряжений на деталях сложной формы (с целью оптимизации конструкции) после кратковременных испытаний.

Литература

1. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 456 с.
2. Лухвич А. А., Каролик А. С., Шарандо В. И. Структурная зависимость термоэлектрических свойств и неразрушающий контроль. – Мн.: Навука і тэхніка, 1990. – 192 с.
3. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов. – М.: Металлургиздат, 1963. – 273 с.

302040, г. Орел, ул. 60 лет Октября, д.28, кв. 35, e-mail: tupikin@dmity.ru.

ДИАГНОСТИКА СТЕПЕНИ ЛИТИФИКАЦИИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Э.И. Ткачук

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Разработан новый способ диагностики глинистых оснований инженерных объектов, базирующийся на результатах системного анализа показателей свойств и позволяющий идентифицировать грунты различной степени литификации по данным простейших испытаний.

Глинистые породы являются наиболее распространенными образованиями верхней части земной коры и служат основаниями большинства инженерных объектов. Кроме того, эти породы характеризуются весьма широким спектром происхождения, наиболее сложными процессами геохимических преобразований, синерезиса, дегидратации, изменения структурных связей, состава, состояния и свойств, протекающими в ходе их эволюции и резкой изменчивостью показателей прочности, деформируемости и проницаемости. Поэтому исследованиями глинистых отложений и их свойств занимаются многие специалисты на протяжении нескольких десятилетий.

Одним из итогов упомянутых исследований являются классификации глинистых пород по происхождению, числу пластичности, показателю текучести, степени влажности, коэффициенту пористости, коэффициенту относительной просадочности и другим характеристикам [1-3].

Наиболее важной классификацией рассматриваемых отложений как оснований и среды размещения инженерных объектов является классификация Ф.П. Саваренского и В.Д. Ломтадзе [1]. В этой классификации глинистые породы разделены по степени их литификации на 5 групп - предельно малой, малой, средней, высокой и предельно высокой степени литификации. Каждая из этих групп подробно охарактеризована важнейшими классификационными признаками, особенностями состава, строения, состояния, наиболее вероятными значениями показателей физико-механических свойств и оценкой со строительной точки зрения.

Последующие исследования различных глинистых отложений (от илов до аргиллитоподобных глин) позволили уточнить важнейшие закономерности изменения их состава, состояния, строения и свойств в процессе сингенеза, диагенеза, катагенеза и подтвердить наличие нескольких (4-5) этапов литификации [4-6 и др.].

Однако идентификация упомянутых этапов (зон литификации) в глинистых породах различного происхождения и возраста по результатам стандартных испытаний затруднена: кривые распределения плотности вероятностей значений каждого из показателей свойств, полученные для отложений различной степени литификации, перекрываются в значительном (20-50 %-ом и более) диапазоне частных значений этих показателей. На-

пример, значения коэффициента пористости, наиболее чутко реагирующие на процесс уплотнения, равные 0,4 ... 0,6 (грунты низкопористые по ГОСТ 25100-95), зафиксированы в породах большинства перечисленных выше зон литификации – от илов [7, 8] до юрских аргиллитоподобных глин [5] и глинистых пород нижнего кембрия [9], т.е. в диапазоне пород от предельно малой до высокой степени литификации. Поэтому для решения рассматриваемой задачи используется весьма обширный комплекс исследований, который, кроме стандартных определений показателей физико-механических свойств, включает изучение минерального, химического, механического состава, состава поровых вод, поглощенных катионов, содержания органических веществ и иных особенностей. Так, для уточнения границы перехода глинистых отложений Бакинского архипелага из стадии диагенеза к стадии катагенеза, кроме упомянутых определений, потребовались качественные и количественные оценки микротекстур, их морфометрических и геометрических характеристик, определения типа структурных связей, степени ориентации глинистых частиц и микроблоков, изучения магнитной анизотропии, анизотропии акустических и механических свойств, других уникальных исследований, выполненных на уникальном оборудовании [6, 10].

Естественно, что изыскательские организации лишены возможности выполнения подобных исследований. В то же время возможность идентификации степени литификации глинистых пород в основаниях конкретных инженерных объектов позволила бы существенно оптимизировать методику и объемы необходимых изысканий, а в ряде случаев могла бы служить достаточным основанием принятия инженерных решений уже на предварительных стадиях исследований. Для этого необходим достаточно удобный способ диагностики, базирующийся на результатах простейших испытаний.

Решение поставленной задачи осуществлено на базе изучения глинистых пород как системных объектов, для которых важнейшей характеристикой являются взаимосвязи свойств [11].

Установлено, что различные стадии литогенеза и зоны литификации, представляющие собой качественно различные состояния глинистых пород, характеризуются существенно различной структурой (характером, теснотой, формой, параметрами) взаимосвязей их свойств [12-14]. Более того, такие состояния хорошо проявляются на полях корреляции многих показателей состава и физических характеристик. Наиболее информативными в этом плане являются поля корреляции коэффициента пористости e и границы текучести W_L : глинистые отложения различной степени литификации хорошо фиксируются на таких полях в форме обособленных (при малых значениях W_L – размытых) эллипсов корреляции. Контуров этих эллипсов (равновесных состояний глинистых пород как развивающихся систем) характеризуются существенным (зачастую резким) снижением плотности вероятностей условных частных значений e , представляют собой объективные (сформированные в процессе литогенеза) границы основных этапов литификации и зафиксированы на многих объектах [12-16].

Полученные границы, приведенные в таблице, хорошо коррелируют с основными типами структурных связей: стадиями, зонами, этапами литогенеза и позволяют идентифицировать степень литификации глинистых отложений различного состава, происхождения и возраста.

Таблица

Количественные границы основных равновесных состояний, стадий, зон, этапов литогенеза и степени литификации глинистых пород

Равновесные состояния	Нижняя граница коэффициента пористости, e	Стадия литогенеза	Степень литификации по В.Д. Ломтадзе	Тип структурных связей по В.И. Осипову
0	$e \approx 4,2W_L$	Сингенез	Предельно малая	Дальний коагуляционный
I	$e = 2,5W_L^{0,9}$	Диагенез	Малая	
Ia	$e = 1,85W_L^{0,8}$		Катагенез	Средняя
II	$e = 1,25W_L^{0,7}$	Переходный		
III	$e = 0,8W_L^{0,6}$			Высокая
IV	$e \approx 0,4W_L^{0,5}$	Предельно высокая		
V	$e \approx 0,15$		Метагенез	Фазовый

Как следует из таблицы, стадия сингенеза представлена одной зоной предельно малой степени литификации (равновесное состояние «0»), стадия диагенеза проходит в два этапа – раннего и позднего диагенеза (состояния I и Ia малой степени литификации), стадия катагенеза включает 3 зоны – слабого, среднего и сильного катагенеза (состояния II-IV средней и высокой степени литификации). Последние сменяются стадией метагенеза (далее – метаморфизма предельно высокой степени литификации). В процессе гипергенеза происходит разуплотнение глинистых пород, которое обычно завершается формированием состояния Ia.

В условиях г. Новочеркасска наиболее важной является нижняя граница состояния Ia ($e = 1,85W_L^{0,8}$), которая с некоторым приближением в интервале W_L от 0,2 до 0,6 аппроксимируется прямой линией:

$$e = 0,16 + 1,8W_L. \quad (1)$$

Зависимость (1) разделяет глинистые породы малой и средней степени литификации и может использоваться для предварительной диагностики глинистых оснований проектируемых зданий и сооружений. Если поле корреляции e и W_L изучаемого основания (слоев, линз, инженерно-геологических элементов) расположено существенно ниже этой линии (т.е. при значениях e , меньших $0,1...0,14 + 1,8W_L$), то соответствующие грунты «могут служить вполне удовлетворительным основанием сооружений», если существенно выше, то – «являются сравнительно слабыми» [1, стр. 435] и требуют достаточно детального изучения их прочности и деформируемости.

Следует также отметить, что в пределах территории г. Новочеркасска эпизодически встречаются грунты, которые находятся в равновесном состоянии I ($e > 0,1 + 2,5W_L$). Такие грунты (например, лессовидные суглинки некоторых участков северной части Восточного микрорайона) в ес-

тественном состоянии могут классифицироваться как твердые и полутвердые, однако при подтоплении или при замачивании приобретают мягко- и текучепластичное состояние, требуют наиболее детального изучения и специальных мероприятий по предотвращению неблагоприятных инженерно-геологических процессов [17].

Литература

1. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. – Л.: Недра, 1984. – 511 с.
2. Грунтоведение /Под ред. Е.М. Сергеева. – М.: МГУ, 1971. – 595 с.
3. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 31 с.
4. Постседиментационные изменения четвертичных и плиоценовых глинистых отложений Бакинского архипелага /Под ред. Н.М. Страхова. – М.: Наука, 1965. – 250 с.
5. Коробанова И.Г. Закономерности формирования свойств терригенных отложений. – М.: Наука, 1983. – 112 с.
6. Поляков А.С., Осипов В.И., Котлов В.Ф., Куприн П.Н. Изменение микротекстуры и физико-механических свойств глинистых отложений Бакинского архипелага при переходе их из стадии диагенеза в стадию катагенеза // Инженерная геология, 1979. – № 5. – С. 29-40.
7. Коников Е.Г. Особенности формирования инженерно-геологических свойств глинистых лиманно-морских голоценовых грунтов // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 1994. – № 3. – С. 52-68.
8. Белявский Г.А. Физико-механические свойства донных осадков северной части Индийского океана. – Киев: Наукова думка, 1977. – 120 с.
9. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства нижнекембрийских глин северо-западной окраины Русской платформы // Зап. ЛГИ, 1958. – Т. 34. – Вып. 2. – С. 154-188.
10. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород. – М.: Недра, 1989. – 211 с.
11. Проблемы методологии системного исследования / Под ред. И.В. Блауберга, В.Н. Садовского, Э.Г. Юдина. – М.: Мысль, 1970. – 456 с.
12. Tkachuk E.I. The influence of diagenesis on the properties of clay as complex systems // Bull. IAEG. № 28. – Paris, 1983. – P. 207-212.
13. Ткачук Э.И. Формирование взаимосвязей между свойствами глинистых пород в процессе литогенеза // Инженерная геология, 1985. – № 1. – С. 104-120.
14. Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы / Под ред. Е.М. Сергеева и Р.С. Зиангирова. – М.: Недра, 1986. – 254 с.
15. Tkachuk E.I. Predictive models for the engineering properties of some Quaternary clay deposits in the USSR // Quaternary Engineering Geological: Proceedings of 25-th Annual Conference. Heriot-Watt University, 10-14 September. Published by Geological Society. – London, 1991. – P. 687-694.
16. Ткачук Э.И. Литогенез как фактор формирования параметров поведения свойств глинистых пород // Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геозкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21-22 марта 2002 г.). – М.: ГЕОС, 2002. – Вып. 4. – С. 74-78.
17. Экология Новочеркасска. Проблемы, пути решения / Под ред. Л.М. Родионовой, И.А. Богуша, Г.Н. Даниловой, Э.И. Ткачука. – Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2001. – 412 с.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С УГЛОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

С.В. Шлыков, М.С. Глушенков, В.В. Иванов

Тольяттинский государственный университет

Рассмотрены устройства для измерения отклонений геометрических размеров, использующие генераторные параметрические преобразователи. Показаны условия достижения максимальной чувствительности.

Измерение отклонений геометрических размеров осуществляется индуктивными и ёмкостными параметрическими датчиками. Использование таких датчиков совместно с автоколебательной системой очень эффективно. Данные преобразователи обеспечивают лучшую помехоустойчивость и более высокие энергетические показатели. Однако эти преимущества проявляются при достаточно больших индексах модуляции. Особенно остро данная проблема проявляется в технике измерения малых отклонений контролируемого параметра в системах автоматического управления. Известные способы увеличения индекса модуляции громоздки и одновременно увеличивают коэффициент нелинейных искажений информационного сигнала.

Создание устройств для измерения малых отклонений контролируемого параметра возможно с помощью сложных автоколебательных систем с двумя и более степенями свободы. К таким автоколебательным системам относится трёхчастотный комбинационный генератор, который содержит два полосных усилителя и два смесителя. Частота каждого сигнала является суммой или разностью частот двух других сигналов, один из которых является входным (образцовым), а два других генерируются автоколебательной системой. При наличии внешнего синхронизирующего сигнала, который подаётся на вторые входы смесителей, в генераторе создаются условия возбуждения колебаний. Установившийся режим в комбинационном генераторе определяется системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{ex} &= \omega_1 \pm \omega_2; \\ \varphi_1(\omega_1) &= \pm \varphi_2(\omega_2), \end{aligned} \right\}$$

где первое уравнение определяет связь между частотами генерируемых сигналов, а второе – баланс фаз в автоколебательной системе.

Основную роль в параметрическом преобразователе играют фазочастотные характеристики. Исследования трёхчастотного комбинационного генератора с различными фазочастотными характеристиками полосных усилителей позволили найти условия, при которых возможны измерения малых отклонений контролируемого параметра. Параметрический преобразователь в этом случае играет роль усилителя девиации частоты или фазы входного сигнала.

Для реализации соответствующих условий необходимы полосные усилители с зеркальными фазочастотными характеристиками следующего вида:

$$\varphi_1(\omega_1) = \operatorname{arctg} \frac{2Q(\omega_{10} - \omega_1)}{\omega_{10}}, \quad \varphi_2(\omega_2) = -\operatorname{arctg} \frac{2Q(\omega_{20} - \omega_2)}{\omega_{20}}.$$

После линеаризации фазочастотных характеристик и соответствующих преобразований определим чувствительности значений частот генерируемых сигналов к отклонению частоты входного сигнала:

$$\Delta\omega_1 = \frac{\omega_{10}Q_2}{\omega_{10}Q_2 - \omega_{20}Q_1} \Delta\omega_3, \quad \Delta\omega_2 = \frac{-\omega_{20}Q_1}{\omega_{10}Q_2 - \omega_{20}Q_1} \Delta\omega_3.$$

Видно, что чувствительность больше единицы и может принимать значения близкие к бесконечности. Необходимый коэффициент усиления параметрического преобразователя регулируется изменением добротности одного из резонансных усилителей. Таким образом, автоколебательную систему с комбинационным взаимодействием сигналов трёх частот при соответствующих условиях можно рассматривать как усилитель девиации частоты или фазы входного сигнала. Одновременно увеличивается и индекс угловой модуляции данного сигнала.

Следует отметить, что в данном режиме работы автоколебательной системы резко возрастают и чувствительности частот генерируемых сигналов к вариации параметров схемы. Это накладывает дополнительные требования к их стабилизации. В то же время существуют условия достижения инвариантности преобразователей от влияния внешних дестабилизирующих факторов, что позволяет получить приемлемые стабильности характеристик преобразования.

Физическая реализация полосного усилителя с зеркальной фазочастотной характеристикой возможна структурным способом. Структура содержит два балансных смесителя и два резонансных усилителя. В результате преобразований на выходе удастся получить наклон фазочастотной характеристики, противоположный естественному.

Полосные усилители параметрического преобразователя настраиваются таким образом, чтобы значения частот генерируемых сигналов при всех возможных положениях частоты входного сигнала находились в полосе пропускания.

Выполнен анализ устойчивости автоколебательной системы в области больших коэффициентов усиления. Получены выражения для чувствительности частот генерируемых сигналов к вариациям параметров автоколебательной системы.

Приводятся результаты моделирования преобразователей с помощью компьютерной математической системы MATLAB. Экспериментальные исследования, проведенные на макетном образце, подтверждают сделанные теоретические выводы.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ ТОЛЩИН СЛОЕВ ПРОВОДЯЩИХ ДВУХСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т.И. Ногачева, Н.В. Углова

Орловский государственный технический университет

Рассматривается схема преобразователя, позволяющего повысить точность измерения локальных толщин слоев проводящих двухслойных материалов за счет одновременного измерения в этих точках термоэлектрических способностей материалов слоев и температуры.

Известно, что погрешность измерения толщины слоев термоэлектрическим методом составляет порядка 8% [1]. Такая большая погрешность измерения объясняется непостоянством теплофизических свойств материалов слоев по их длине и, в первую очередь, непостоянством их термоэлектрической способности. Другим источником погрешности является неточное знание температур в точках касания наконечников с поверхностями контролируемого материала. Поэтому для уменьшения погрешности измерения толщины слоев необходимо точно знать температуру в местах контакта и значения термоэлектрической способности материалов слоев, не усредненные для данных материалов, а соответствующие именно тем точкам, в которых проводятся измерения. Эту задачу можно решить, используя термоэлектрический способ контроля. При этом на внешней стороне одного из слоев a или b контролируемого двухслойного материала устанавливают на некотором расстоянии друг от друга горячий и холодный наконечники, выполненные из одного и того же материала. Еще один такой же холодный наконечник устанавливают на внешней поверхности другого слоя напротив горячего наконечника. В термоэлектрическом преобразователе, позволяющем осуществлять одновременное измерение термоэлектрических способностей материалов слоев проводящих двухслойных материалов и их толщину, в качестве наконечников используются головки одинаковых термопар, измеряющих, кроме того, температуру в точках контакта. Две термопары устанавливают на внешних поверхностях слоев a и b напротив друг друга. Первая термопара у своей головки проходит через нагревательный элемент и является источником тепловой энергии, подводимой к месту контакта ее головки с материалом. Третья термопара устанавливается на внешней поверхности слоя a на таком расстоянии от первой термопары, при котором температура в точке контакта этой термопары с контролируемым материалом равна температуре окружающей среды Θ_0 . О равенстве этих температур можно судить по нулевому показанию вольтметра V_3 , включенного в цепь этой термопары. При неравенстве этих температур в результат измерения необходимо вносить поправку. Температура в точках контакта головок термопар с поверхностями материала определяется по величинам термо-ЭДС E_1 , E_2 и E_3 , гене-

рируемых этими термопарами, которые измеряются вольтметрами $V1$, $V2$ и $V3$. Вольтметры $V4$ и $V5$ включены между одноименными электродами первой и второй и, соответственно, второй и третьей термопар. По измеренным значениям температур и показаниям приборов E_4 и E_5 определяют термоэлектрические способности материалов слоев в точках касания головок первой и второй термопар. Термоэлектрические способности слоев a и b в этих точках равны:

$$S_a = S_c - \frac{E_4}{\Theta_1 - \Theta_0}, \quad S_b = S_c - \frac{E_5}{\Theta_2 - \Theta_0}.$$

Вольтметр $V6$, включенный между одноименными электродами первой и второй термопар, измеряет суммарную термоЭДС E_6 в цепи: общий электрод термопар – слой a – слой b – общий электрод термопар.

Толщина слоя h_a определяется выражением:

$$h_a = \frac{\left(\frac{E_5}{\Theta_2 - \Theta_0} (\Theta_1 - \Theta_2) - E \right) l \rho_b}{E_6 (\rho_a - \rho_b) - (\Theta_1 - \Theta_2) \left(\frac{E_4}{\Theta_1 - \Theta_0} \rho_a - \frac{E_5}{\Theta_2 - \Theta_0} \rho_b \right)}. \quad (1)$$

Подставив в (1) выражения для температур в точках касания первой и второй термопар с соответствующими поверхностями $\Theta_1 = \frac{E_1}{S_{fc}} + \Theta_0$ и $\Theta_2 = \frac{E_2}{S_{fc}} + \Theta_0$, где S_{fc} – термоэлектрическая чувствительность используемых термопар, образованных электродами f и c , получим выражение для толщины слоя h_a :

$$h_a = \frac{(E_5(E_1 - E_2) - E_2 E_6) l \rho_b}{E_2 \left(E_6 (\rho_a - \rho_b) - E_4 \rho_a \left(1 - \frac{E_2}{E_1} \right) - E_5 \rho_b \left(1 - \frac{E_1}{E_2} \right) \right)}. \quad (2)$$

Общую толщину материала l предварительно измеряют с помощью прибора, обеспечивающего необходимую точность: микрометра, индикатора часового типа, вертикального оптиметра и т.д. Толщину другого слоя h_b определяют как разность между общей толщиной l и толщиной слоя h_a , измеренной термоэлектрическим методом.

Литература

1. Ногачева Т.И., Углова Н.В. Термоэлектрический преобразователь для контроля толщины слоев биметаллических мембран // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. 2. – Новочеркасск, 2001. – С. 6-7.

ПОНЯТИЕ О ТОЛЩИНЕ ПОКРЫТИЯ С УЧЕТОМ ДИФФУЗИОННОЙ ЗОНЫ

Н.В. Углова

Орловский государственный технический университет

Рассматриваются основные термины и определения, используемые в практике толщинометрии проводящих покрытий на проводящей основе.

В технике широкое применение получили изделия с металлическими покрытиями на металлических основаниях. Часто решающим признаком качества покрытия является его толщина. Для обеспечения единства и правильности измерений в области толщинометрии покрытий важное значение имеет толкование термина «толщина покрытия».

В [1] предлагается использовать термин «истинная толщина покрытия» и под ним понимать «кратчайшее расстояние между поверхностью покрытия в заданной точке и поверхностью основания». Значение этой величины определить нельзя, возможно только с той или иной степенью точности приблизиться к ней. Кроме того, четкой границы между основанием и покрытием не существует. Это может объясняться микрогеометрией рабочей поверхности основания и слоя покрытия, а также образованием диффузионной зоны вследствие проникновения материалов основания и покрытия друг в друга. Обычно диффузионная зона не является однородной. В пределах этой зоны ее свойства постепенно изменяются, переходя от свойств покрытия к свойствам основания.

Во многих случаях ширина диффузионной зоны достаточно велика, и ее влиянием на свойства изделий пренебречь нельзя. Это особенно ярко прослеживается на поверхностных слоях металлических изделий, подвергавшихся различным способам упрочнения поверхностных слоев.

Термин **местная толщина покрытия** рассматривается как «толщина покрытия в заданном месте». Существуют понятия **максимальной, минимальной и средней толщины покрытия**.

Измерения в различных диапазонах толщины покрытий из разных материалов и на разных основаниях не могут проводиться одним и тем же методом, а при измерении одного и того же покрытия разными методами получаются, как правило, различные значения толщины. Поэтому при выборе метода измерения важно знать, какую именно толщину необходимо контролировать.

Литература

1. ГОСТ 8.362-79. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение толщины покрытий. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

ПУЛЬТ ОПЕРАТОРА ДЛЯ РАБОТЫ С РЕГИСТРАТОРАМИ СРАБАТЫВАНИЙ РЕЛЕ ЗАЩИТ И ИЗМЕНЕНИЯ ВИБРОСКОРОСТИ

С.В. Дереча, Д.А. Плотников

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Представлена разработка автономного переносного пульта оператора для работы с регистраторами срабатываний реле защит и изменения виброскорости.

В течение ряда лет на Невинномысской ГРЭС эксплуатируется система мониторинга состояния турбоагрегатов [1], структурная схема которой представлена на рис. 1. Она включает две подсистемы: подсистему контроля вибрации и подсистему контроля срабатываний реле защит. Наблюдение за состоянием реле защит осуществляется при помощи регистраторов срабатываний «Пульсар», а контроль вибрации выполняется регистраторами изменений виброскорости «Скачок».

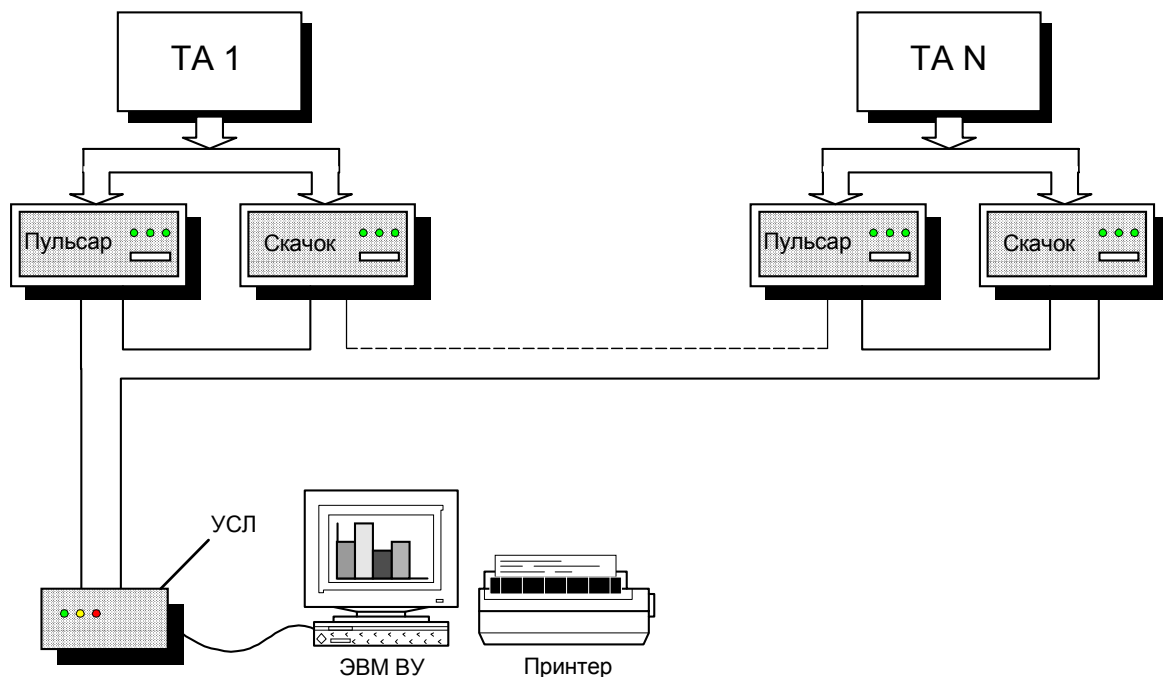


Рис.1. Система регистрации событий

Каждый регистратор располагается в непосредственной близости от генератора, имеет свой логический номер и объединен с другими регистраторами в сеть через последовательный канал связи. К каналу связи подключена ЭВМ верхнего уровня (ЭВМ ВУ), оснащенная программным обеспечением, которое обеспечивает запрос, хранение и обработку данных, накопленных регистраторами.

Описанная структура рассчитана на эксплуатацию регистраторов в необслуживаемом режиме, когда вся информация с них поступает на ЭВМ ВУ и там представляется диспетчеру. Однако в процессе наладки

систем турбогенератора возникает необходимость в получении последней накопленной регистратором информации в непосредственной близости от объекта контроля.

Существует несколько путей решения данной проблемы:

- установка дополнительных ЭВМ ВУ в непосредственной близости от регистраторов;
- использование переносной ЭВМ типа **NoteBook**, подключаемой к специальному отладочному разъему регистратора;
- использование автономного малогабаритного переносного устройства – пульта оператора, подключаемого аналогично переносной ЭВМ.

Использование двух первых вариантов представляется нецелесообразным, поскольку в условиях электростанции необходимо применять промышленные варианты ЭВМ, стоимость которых очень высока и использование системы станет нерентабельным.

Поэтому задача решена путем разработки пульта оператора, оснащенного панелью индикатора для вывода разнообразной информации в удобной для восприятия форме; клавиатурой, управляющей процессом работы устройства; последовательным интерфейсом для подключения к регистраторам и ЭВМ ВУ; внутренней памятью, необходимой для хранения данных, и т.д.

Пульт во время работы имитирует ЭВМ верхнего уровня и предназначен для использования совместно с регистраторами срабатываний реле защит «Пульсар» и регистраторами изменения виброскорости «Скачок». Перечислим основные функции, реализованные в пульте оператора:

- подключение к регистратору при помощи стандартного интерфейса RS-232;
- чтение, удаление, просмотр и перенос на ЭВМ верхнего уровня данных из памяти регистратора в случае неисправности линии связи между ЭВМ ВУ и регистраторами;
- просмотр текущего состояния регистратора за счет его периодического опроса (0.5-1сек.), а именно: текущего времени по часам регистратора, количества записей в протоколе событий регистратора и т.д.;
- отображение протокола событий регистратора на индикаторе в наглядной форме;
- отображение нескольких последних событий (2...4 события) в режиме проверки входных цепей регистратора, например, при калибровке значений предупредительной и аварийной уставок срабатываний защиты турбоагрегата;
- установка часов регистратора по внутренним часам пульта или с клавиатуры, изменение логического адреса регистратора, сброс регистратора;
- ручная или автоматическая настройка общих параметров и параметров входов регистратора типа «Скачок» осуществляется путем ввода значений с клавиатуры пульта или путем их переноса с ЭВМ ВУ;

- автоматическая настройка таблиц логических функций регистратора типа «Скачок» путем их переноса с ЭВМ ВУ. Таблицы логических функций позволяют выявить события, определяемые как комбинация отдельных событий;

- хранение таблицы имен регистраторов, которая используется в системе для идентификации каждого регистратора;

- хранение таблиц имен дискретных входов регистраторов типа «Пульсар», которые используются в системе для идентификации дискретных входов в зависимости от их назначения;

При реализации перечисленных функций основное внимание уделялось решению следующих задач: обеспечению бесперебойной связи по последовательному каналу, надежной загрузке и хранению разнородных данных в памяти пульта: протоколов событий, таблиц параметров, таблиц общих параметров, таблиц параметров входов, таблиц логических функций, таблиц имен регистраторов и дискретных входов и других данных.

Для хранения разнородных данных в памяти пульта используется специальный формат заголовка для таблиц данных, где указываются:

- время поступления данных;
- тип хранимых данных (протокол, таблица параметров и т.д.);
- тип регистратора («Скачок» или «Пульсар»);
- логический адрес регистратора;
- размер таблицы в килобайтах.

После включения питания пульт пытается установить связь с регистратором. При удачной попытке установки связи пульт определяет тип регистратора («Скачок» или «Пульсар») и переходит в режим работы с подключенным регистратором. При этом на экран выводится соответствующее меню, в заголовке которого указывается название регистратора, тип регистратора: «Скачок» или «Пульсар», логический адрес регистратора в системе.

В случае, если связь с регистратором не установлена, пульт переходит в режим «Автономная работа», в котором возможен просмотр загруженных протоколов, обмен данными с ЭВМ ВУ, настройка параметров работы пульта и т.д.

Разработанное устройство эксплуатируется совместно с описанной системой мониторинга на протяжении 2,5 лет.

Литература

1. Лачин В.И., Малина А.К., Плотников Д.А. Многоуровневая распределенная система мониторинга вибрационного состояния и защиты турбоагрегатов. Информационные технологии и управление: Юбилейный сб. науч. тр. факультета информационных технологий и управления / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2001. – 296 с. [Приложение к журналу].

ГЕНЕРАТОРНЫЙ МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ

В.В. Иванов, В.К. Шакурский

Тольяттинский государственный университет

Рассматриваются преобразователи, позволяющие увеличить величину девиации частоты генерируемого автоколебательной системой периодического сигнала по сравнению с девиацией частоты сигнала синхронизации. В основе преобразователей синхронизируемая автоколебательная система с комбинационным взаимодействием сигналов не кратных частот.

Проблема увеличения девиации частоты периодического сигнала возникает при радиоизмерениях, в генераторных измерительных преобразователях физических контролируемых параметров, в ЧМ модуляторах и других устройствах. Известные способы увеличения девиации громоздки и одновременно вносят нелинейные искажения в полезный сигнал.

Использование нового эффекта сверхчувствительности частоты и фазы автоколебательных систем к вариации параметров сигнала синхронизации позволяет разработать более эффективные преобразователи девиации частоты. Данный эффект имеет место в автоколебательных системах, схема замещения которых сводится к замкнутому в контур каскадному соединению полосных звеньев, у которых фазочастотные характеристики (ФЧХ) на рабочих участках имеют противоположный друг другу наклон. Изменяя наклон характеристики одного звена, можно получить сколь угодно большие чувствительности.

В работе используется автоколебательная система с комбинационным взаимодействием трёх сигналов, один из которых – сигнал синхронизации, а два других генерируются автоколебательной системой. Каждый генерируемый сигнал является результатом смещения сигнала синхронизации и другого генерируемого сигнала. Для фильтрации необходимых гармоник и выполнения условия баланса амплитуд введены два полосных усилителя с противоположным наклоном ФЧХ. Таким образом, выполняется условие сверхчувствительности. В результате вариация частоты сигнала синхронизации вызывает значительно большее отклонение частот генерируемых сигналов.

Разработана математическая модель преобразователя, получены условия максимального преобразования значения девиации частоты. Найдены и исследованы структурные способы синтеза полосных усилителей с противоположным наклоном ФЧХ. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования, которые показали возможность изменения коэффициента преобразования путём изменения добротности одного из полосных усилителей. Определены условия устойчивости и исследованы динамические характеристики преобразователя. Полученные результаты подтверждают преимущества генераторного метода преобразования.

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ

И.Н. Таранов, Б.В. Сорокин, С.Н. Печёнкин

Филиал Южно-Уральского государственного университета, г. Златоуст

Предлагается достаточно простой и эффективный способ определения межвитковой емкости катушки индуктивности по времени и скорости спада напряжения на переходе силового транзистора.

Существует ряд электромагнитных устройств, в которых, наряду с заданными параметрами, существуют распределённые, часто паразитные параметры [1]. Примером могут служить дроссели высокочастотных схем управления люминесцентными лампами.

С точки зрения уменьшения динамических потерь в таких схемах необходимо иметь возможность измерения распределённой ёмкости для применения эффективных мер по её уменьшению. Для измерения распределённой ёмкости предлагается включить дроссель по схеме, изображенной на рис. 1. Осциллограммы сигналов при этом имеют вид, представленный на рис. 2. Участок времени от t_1 до t_2 соответствует процессу разряда межвитковой ёмкости.

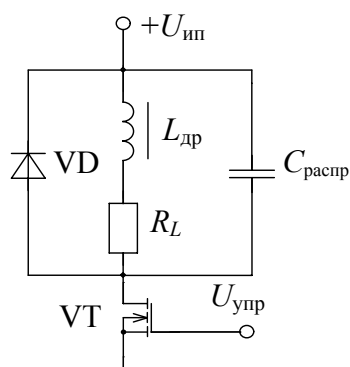


Рис.1. Схема включения дросселя

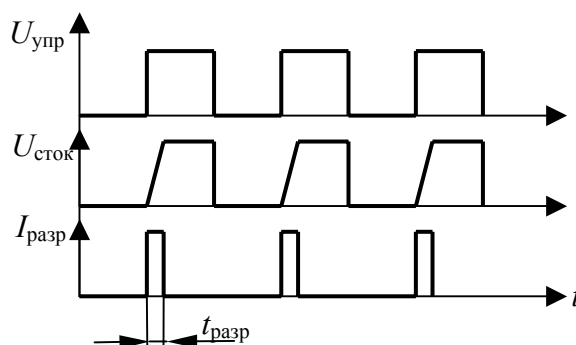


Рис.2. Временные диаграммы сигналов

Зная значение индуктивности дросселя, по времени и скорости нарастания напряжения на истоке можно судить о величине межвитковой ёмкости. Результаты исследований были использованы при разработке интеллектуальной системы управления люминесцентным освещением и контуров радиотехнических устройств.

Литература

1. М.Х. Джонс. Электроника – практический курс. – М.: Постмаркет, 1999. – 528 с.

456209, г. Златоуст, ул. Тургенева, 16, т.(8-35136-6-58-69), e-mail: taranof@mail.ru.

ЛОГОМЕТРИЧЕСКИЙ ОММЕТР С КОРРЕКЦИЕЙ АДДИТИВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

В.В. Долгих

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассмотрен принцип построения логометрического омметра с коррекцией аддитивной погрешности, выполнен анализ эффективности предложенного способа коррекции погрешности.

Одним из перспективных способов измерения сопротивлений является логометрический, основанный на вычислении результата измерения путем деления падения напряжения на измеряемом сопротивлении на значение тока. В этом случае практически исключается погрешность, обусловленная отклонением тока от расчетного значения. Применение аналого-цифровых преобразователей (АЦП) в качестве устройств деления [1, 2] позволяет выполнить эту операцию с высокой точностью. Например, даже широко распространенные сравнительно грубые 12-разрядные АЦП обеспечивают погрешность менее 0,05%. На базе интегрирующих 16- и 18-разрядных АЦП можно выполнить устройства деления с погрешностью порядка 0,001%.

Точность и чувствительность таких приборов ограничивается в основном аддитивными погрешностями блоков, а также влиянием контактных потенциалов и термоЭДС. Рассмотренная ниже схема омметра позволяет значительно снизить влияние указанных факторов и обеспечить высокую точность измерений при малых значениях рабочего тока.

Функциональная схема омметра приведена на рис. 1. Измеритель-

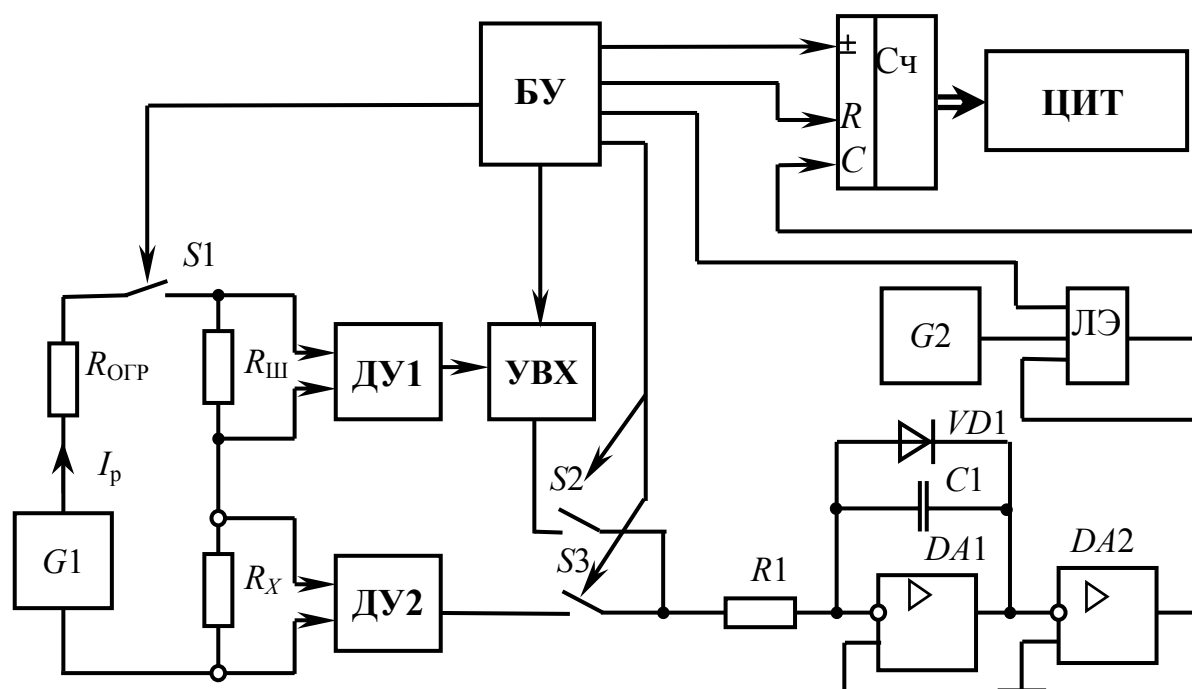


Рис.1. Функциональная схема омметра

ная цепь содержит источник постоянного напряжения $G1$, измеряемое сопротивление R_x , шунт $R_{ш}$ и ограничительный резистор $R_{огр}$, задающий необходимое значение рабочего тока I_p . Дифференциальные усилители ДУ1 и ДУ2 служат для выделения падений напряжений на шунте $R_{ш}$ (измерения тока) и на измеряемом сопротивлении R_x . Для выполнения операции деления использован АЦП двойного интегрирования, образованный интегратором $DA1$, компаратором $DA2$, генератором счетных импульсов $G2$, логическим элементом ЛЭ и счетчиком Сч. Ключи $S2$ и $S3$ поочередно подключают к входу интегратора опорный и измеряемый сигналы. Блок управления (БУ) представляет собой формирователь последовательностей импульсных сигналов, обеспечивающих необходимый порядок работы функциональных блоков омметра. Временные диаграммы работы приведены на рис. 2.

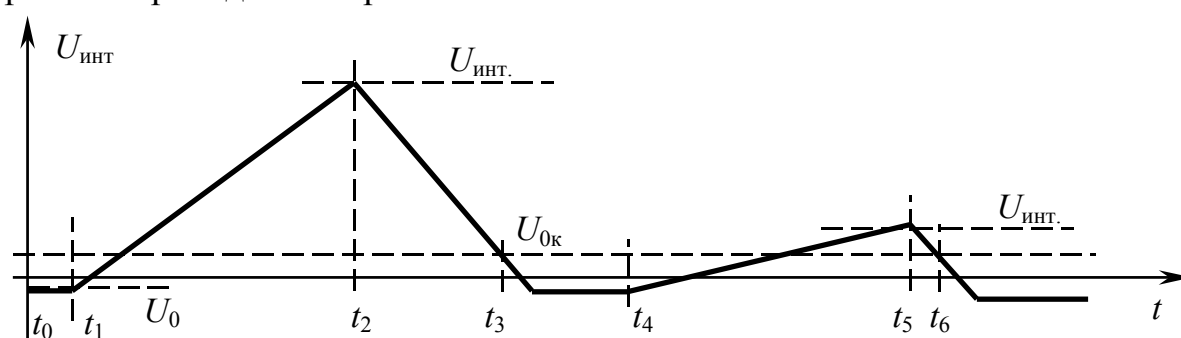


Рис.2. Временные диаграммы работы омметра

Измерение осуществляется за два этапа, каждый из которых состоит из интервалов времени прямого и обратного интегрирования. На интервале времени $t_1 - t_2$ прямого интегрирования первого этапа ключ $S1$ замкнут. В момент времени t_1 БУ сбрасывает счетчик в нулевое состояние и переключает его в режим суммирования, а также запрещает прохождение счетных импульсов от генератора $G2$. Устройство выборки и хранения УВХ на этом интервале времени работает в режиме выборки (слежения), и его выходное напряжение равно напряжению на выходе ДУ1. Падение напряжения на измеряемом сопротивлении, усиленное усилителем ДУ2, через ключ $S3$ поступает на вход интегратора $DA1$, выходное напряжение которого в момент времени t_2 достигает значения

$$U_{\text{инт.2}} = \frac{1}{R1C1} \int_{t_1}^{t_2} (I_p R_x + U_{\text{см2}}) K_2 dx - U_0 = \frac{(I_p R_x + U_{\text{см2}}) K_2}{R1C1} (t_2 - t_1) - U_0, \quad (1)$$

где K_2 – коэффициент усиления усилителя ДУ2; $U_{\text{см2}}$ – напряжение смещения канала измерения падения напряжения на измеряемом сопротивлении – канала усилителя ДУ2, В; U_0 – начальное напряжение интегрирования, В.

На интервале времени $t_2 - t_3$ обратного интегрирования ключ $S3$ размыкается, а ключ $S2$ – замыкается. На вход интегратора подается напряжение с выхода УВХ, равное усиленному падению напряжения на шунте $R_{ш}$

$$U_{\text{УВХ}} = (I_{\text{р}} R_{\text{ш}} + U_{\text{см1}}) K_1,$$

где $U_{\text{см.1}}$ – напряжение смещения канала усилителя ДУ1, В; K_1 – коэффициент усиления усилителя ДУ1.

Под действием этого напряжения осуществляется обратное интегрирование, для интервала которого можно записать

$$U_{\text{инт.2}} - U_{0\text{к}} = \frac{(I_{\text{р}} R_{\text{ш}} + U_{\text{см1}}) K_1}{R1C1} (t_3 - t_2), \quad (2)$$

где $U_{0\text{к}}$ – напряжение смещения компаратора, В.

Решая совместно (1) и (2), получаем

$$t_3 - t_2 = \frac{(I_{\text{р}} R_{\text{ш}} + U_{\text{см2}}) K_2 (t_2 - t_1) - (U_0 - U_{0\text{к}}) R1C1}{(I_{\text{р}} R_{\text{ш}} + U_{\text{см1}}) K_1}. \quad (3)$$

В течение интервала $t_2 - t_3$ логический элемент ЛЭ пропускает на вход счетчика Сч количество импульсов N_1 , равное

$$N_1 = f_{\text{сч}} (t_2 - t_3),$$

где $f_{\text{сч}}$ – частота счетных импульсов генератора G2, Гц.

На втором этапе измерения, который начинается в момент времени t_4 , сигналами блока управления ключ S1 выключен, счетчик Сч переведен в режим вычитания и УВХ – в режим хранения. Рабочий ток в измерительной цепи, а также падения напряжения на шунте и измеряемом сопротивлении равны нулю. При этом напряжение на выходе УВХ поддерживается равным прежнему значению $U_{\text{УВХ}}$, а на выходе ДУ2 будет усиленное напряжение $U_{\text{см2}}$. Учитывая, что интервалы времени прямого интегрирования на обоих этапах измерения одинаковы, т.е. $t_2 - t_1 = t_5 - t_4$, определяем напряжение на выходе интегратора в момент времени t_5

$$U_{\text{инт.5}} = \frac{1}{R1C1} \int_{t_4}^{t_5} U_{\text{см2}} K_2 dx - U_0 = \frac{U_{\text{см2}} K_2}{R1C1} (t_2 - t_1) - U_0$$

и интервал времени обратного интегрирования

$$t_6 - t_5 = \frac{U_{\text{см2}} K_2 (t_2 - t_1) - (U_0 - U_{0\text{к}}) R1C1}{(I_{\text{р}} R_{\text{ш}} + U_{\text{см1}}) K_1}.$$

Таким образом, на вход счетчика поступит количество импульсов

$$N_2 = f_{\text{сч}} (t_6 - t_5),$$

и окончательное значение цифрового кода, соответствующее результату измерения, будет равно

$$N_x = N_2 - N_1 = \frac{I_{\text{р}} R_{\text{ш}} K_2 (t_2 - t_1)}{(I_{\text{р}} R_{\text{ш}} + U_{\text{см1}}) K_1} = K \frac{R_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}} (1 + \delta_1)},$$

где $K = \frac{K_2 (t_2 - t_1)}{K_1}$ – коэффициент масштабного преобразования омметра;

$\delta_1 = \frac{U_{\text{см1}}}{I_{\text{р}} R_{\text{ш}}}$ – аддитивная погрешность канала измерения тока.

Итак, результат измерения содержит только мультипликативную погрешность, которая может быть обеспечена достаточно малым повышением стабильности дифференциальных усилителей путем охвата их глубокой отрицательной обратной связью с использованием прецизионных элементов, а также начальной регулировкой схемы. Влияние погрешности δ_1 , также может быть значительно снижено выбором сопротивления шунта, при котором падение напряжения на нем во много раз превышает напряжение смещения $U_{см1}$.

Таким образом, рассмотренная схема омметра позволяет практически устранять постоянную систематическую погрешность при измерении сопротивлений элементов и участков электрических цепей, изделий электротехнической промышленности. Это позволит значительно повысить точность измерения сопротивлений, уменьшить значение рабочего тока, снизить вес, габариты и стоимость приборов. Благодаря уменьшению порога чувствительности омметров за счет уменьшения аддитивной погрешности нижний предел микроомметров может быть уменьшен на несколько порядков без увеличения рабочего тока.

Наиболее перспективно применение описанного устройства для построения милли- и микроомметров.

Литература

1. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации / Под ред. В.Б. Смолова. – Л.: Энергия, 1976.
2. Долгих В.В. Использование вычислительных свойств ЦАП и АЦП в измерительных преобразователях. Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2000. Ч. 7. – С. 9-11.
3. Патент № 2176090 РФ, МКИ 7G01R 27/02. Устройство для измерения электрического сопротивления / В.В. Долгих, В.П. Фокин, В.А. Коломиец и др., 2001. – Бюл. № 32.

346428, г. Новочеркасск, Ростовской обл., ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ИИМТ, т. (8-863-52) 55-2-14, e-mail: iit@iimt.srstu.novoch.ru.

УДК 621.3.087.92

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОК

В.В. Долгих

Южно-Российский государственный технический университет

Рассмотрен преобразователь напряжения в ток с параллельной положительной обратной связью, обладающий возможностью изменения выходного тока от десятков наноампер до нескольких миллиампер. Переключение поддиапазонов можно осуществлять одним резистором. Получены основные расчетные соотношения.

Одним из недостатков преобразователей напряжения в ток с параллельной положительной обратной связью [1, 2] является сложность обес-

печения высокой точности в широком диапазоне преобразования (более ста крат). Это связано с тем, что при таком регулировании выходного тока или при настройке требуемого значения коэффициента преобразования необходимо одновременно изменять сопротивления двух резисторов цепей обратной связи. При построении преобразователей микро- и наноамперного диапазонов из-за больших погрешностей высокоомных резисторов также существенно проявляется нелинейность передаточной функции в виде зависимости выходного тока от напряжения на нагрузке.

Указанные недостатки могут быть устранены выполнением цепи обратной связи по Т-образной схеме [3]. Схема такого преобразователя приведена на рис. 1. Она содержит неинвертирующий усилитель $A1$ с малым коэффициентом усиления, несколько превышающим единицу, и отличается от известной дополнительным резистором $R3$, который определяет выходной ток устройства.

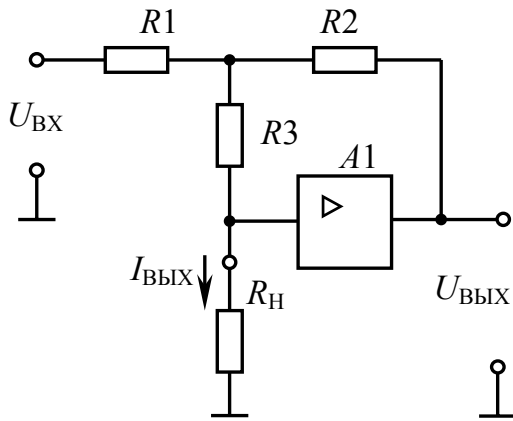


Рис.1. Функциональная схема преобразователя

Для упрощения анализа работы схемы полагаем усилитель $A1$ идеальным, т.е. будем считать его входной ток равным нулю и входное сопротивление бесконечно большим по сравнению с сопротивлением нагрузки R_N . Представив делитель напряжения $R1$, $R2$ цепи обратной связи в виде эквивалентного генератора, можем записать выражение для выходного тока

$$I_{\text{ВЫХ}} = (E_{\text{дел}} - U_{\text{Н}}) / (R_{\text{дел}} + R3),$$

где $E_{\text{дел}}$ и $R_{\text{дел}}$ – эквивалентная ЭДС и эквивалентное сопротивление делителя напряжения обратной связи; $U_{\text{Н}}$ – падение напряжения на сопротивлении нагрузки.

Учитывая, что

$$\begin{aligned} U_{\text{ВЫХ}} &= K U_{\text{Н}}; \\ E_{\text{дел}} &= U_{\text{ВХ}} R2 / (R1 + R2) + U_{\text{ВЫХ}} R1 / (R1 + R2); \\ R_{\text{дел}} &= R1 R2 / (R1 + R2), \end{aligned}$$

где K – коэффициент усиления усилителя, после подстановки получаем

$$I_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} R2 + U_{\text{Н}} [(K - 1) R1 - R2]}{R1 R2 + R1 R3 + R2 R3}.$$

Для нахождения условия независимости $I_{\text{ВЫХ}}$ от $U_{\text{Н}}$ приравняем выражение в квадратных скобках к нулю и определяем требуемое отношение сопротивлений

$$R2 / R1 = K - 1. \quad (1)$$

При точном выполнении этого соотношения выходной ток равен

$$I_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} / [R1 + R3K/(K-1)]. \quad (2)$$

Изменением сопротивления резистора $R3$ можно регулировать выходной ток в очень широких пределах без нарушения условия (1). Как это следует из (2), в схеме проявляется эффект увеличения сопротивления резистора $R3$ в $K/(K-1)$ раз. Причем, степень проявления этого эффекта увеличивается при $K \rightarrow 1$.

Одновременно на выходе усилителя формируется напряжение, пропорциональное падению напряжения на нагрузке, и ток не зависит от сопротивления нагрузки. Это делает рассмотренную схему очень удобной для построения генераторов линейно изменяющегося напряжения.

Для получения малой погрешности преобразования необходимо с высокой точностью выдерживать соотношение (1). Наиболее удобно это обеспечивается с применением операционных усилителей. В таком случае требуемое значение коэффициента усиления K обеспечивается выбором сопротивлений резисторов цепи отрицательной обратной связи. Принципиальная схема такого преобразователя приведена на рис. 2,а.

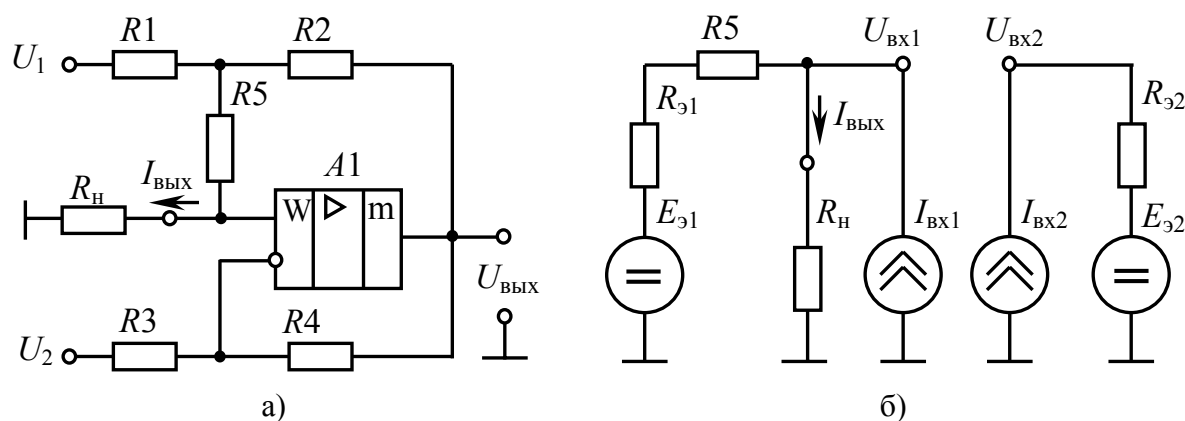


Рис.2. Преобразователь напряжения в ток:
а) принципиальная схема; б) эквивалентная схема

Питание входных каскадов современных операционных усилителей осуществляется с помощью стабилизаторов тока, поэтому на линейном участке передаточной характеристики преобразователя основное влияние на его погрешность оказывают входные токи усилителя. Для входных каскадов на биполярных транзисторах – это базовые токи, определяющие режим работы транзисторов, а для каскадов на полевых транзисторах – это токи утечки затворов.

Для оценки влияния входных токов на ток $I_{\text{ВЫХ}}$ воспользуемся схемой замещения, изображенной на рис. 2,б, на которой делители напряжения обратных связей представлены эквивалентными генераторами $E_{э1}$ и $E_{э2}$. Учитывая, что напряжения $U_{\text{ВХ1}}$ и $U_{\text{ВХ2}}$ между входными выводами операционного усилителя отличаются друг от друга не более чем на единицы милливольт, можем записать

$$E_{э1} - (I_{\text{ВХ1}} + I_{\text{ВЫХ}})(R_{э1} + R5) = E_{э2} - I_{\text{ВХ2}}R_{э2} \pm U_{\text{см}},$$

где $R_{\Sigma 1}$ и $R_{\Sigma 2}$ – эквивалентные сопротивления делителей напряжения положительной и отрицательной обратных связей; $I_{\text{вх}1}$ и $I_{\text{вх}2}$ – токи неинвертирующего и инвертирующего входов операционного усилителя; $U_{\text{см}}$ – напряжение смещения операционного усилителя.

Учитывая, что

$$R1/R2 = R3/R4, \quad (3)$$

после преобразования получаем уточненную передаточную функцию преобразователя

$$I_{\text{вых}} = \frac{U_1 - U_2 \pm U_{\text{см}} K / (K - 1)}{R1 + R5 K / (K - 1)} + I_{\text{вх}2} \frac{R3}{R1 + R5 K / (K - 1)} - I_{\text{вх}1}.$$

Как следует из полученного выражения, напряжение смещения и входные токи усилителя создают аддитивную погрешность преобразования. Причем, с уменьшением коэффициента K погрешность, обусловленная напряжением смещения усилителя, возрастает, что требует применения в схеме прецизионных усилителей. Вместе с тем при $K \rightarrow 1$ легче обеспечивается малая погрешность его значения. Например, нестабильность коэффициента усиления, равного 1,05, при погрешностях резисторов отрицательной обратной связи $\pm 2\%$ не превышает $\pm 0,1\%$.

Мультипликативная погрешность δ_m преобразователя зависит от точности выполнения условия (3) и в соответствии с [2] может быть определена по формуле

$$\delta_m = \frac{U_{\text{н.м}}}{U_1 - U_2} \sum_{i=1}^4 \delta_{Ri},$$

где $U_{\text{н.м}}$ – максимальное значение падения напряжения на нагрузке; δ_{Ri} – относительная погрешность сопротивлений резисторов $R1 - R4$.

После преобразования получаем

$$\delta_m = \frac{U_{\text{вых.м}}}{(U_1 - U_2) K} \sum_{i=1}^4 \delta_{Ri},$$

где $U_{\text{вых.м}}$ – максимальное выходное напряжение усилителя.

Таким образом, для уменьшения мультипликативной погрешности необходимо увеличивать коэффициент K . Конкретное его значение определяется исходя из приемлемого соотношения аддитивной и мультипликативной погрешностей.

Противоположное влияние токов $I_{\text{вх}1}$ и $I_{\text{вх}2}$ в принципе позволяет выполнить компенсацию погрешности выбором сопротивлений цепи отрицательной обратной связи или включением дополнительного резистора последовательно с инвертирующим входом усилителя. Но это требует при изменении сопротивлений резистора $R5$ одновременно менять сопротивление и дополнительного резистора. Кроме этого, на практике из-за большого разброса значений входных токов усилителя условие компенсации непредсказуемо нарушается и поэтому ее эффективность мала.

Эффект увеличения сопротивления резистора $R5$ позволяет использовать относительно низкоомные сопротивления с меньшими погрешно-

стями, что обеспечивает более точное выполнение условия (1) и меньшую зависимость выходного тока от напряжения на нагрузке даже при токах нагрузки наноамперного диапазона. Минимальное значение тока $I_{\text{вых}}$ определяется допустимым влиянием входного тока усилителя. Например, при использовании операционного усилителя типа 140УД24 с входным током менее 0,01 нА [4] рассмотренная схема преобразователя позволяет формировать токи начиная от 10 нА с погрешностью не более 0,1%. При $K = 1,05$ и $U_1 - U_2 = 1$ В сопротивление резистора R5 должно быть равно 5 Мом. Переключение резисторов R5 с соответствующими сопротивлениями позволяет получить динамический диапазон формирования $I_{\text{вых}}$ более 100 дБ при сохранении высокой точности преобразования.

Литература

1. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Сов. радио, 1979.
2. Проектирование радиоэлектронных устройств на интегральных микросхемах / Под. ред. С.Я. Шаца. – М.: Сов. радио, 1976.
3. Патент № 2173021 РФ, МКИ 7Н03F 3/42. Преобразователь напряжение – ток / В.В. Долгих, 2001. – Бюл. 24.
4. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др. / Под ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-2-14, e-mail: iimt@srstu.novoch.ru.

УДК 681.3

ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВРЕМЕНИ УСТАНОВЛЕНИЯ СИГНАЛА НА ВЫХОДЕ СЛЕДЯЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОД-ЧАСТОТА

В.Ф. Митина, Ю.Р. Кревченко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассмотрены особенности построения цифрового измерителя времени установления выходной частоты следящих преобразователей код-частота, в цепи обратной связи которых производится сравнение временных интервалов. Использование особенностей структурной схемы указанных преобразователей позволяет создать достаточно простую и надежную схему цифрового измерителя времени установления сигнала на выходе таких преобразователей, обеспечивающую измерение с заданной статической точностью.

В цифровых следящих преобразователях код-частота (СПКЧ), с целью обеспечения высокой статической и динамической точности установления выходного сигнала и стабильности характеристик СПКЧ при изменении в широком диапазоне как входного кода СПКЧ, так и внешних условий эксплуатации, в качестве образцового сигнала используется стабильный временной интервал [1].

Известно, что при создании цифровых измерителей времени установления сигнала на выходе следящих преобразователей код-частота со сравнением временных интервалов в цепи обратной связи могут быть использованы два метода [2,3]. Первый метод – метод компарирования – требует (для СПКЧ) промежуточного преобразования контролируемого выходного сигнала в аналоговую величину, сравнения полученного аналогового сигнала с уровнем образцового сигнала и использования результата сравнения при формировании выходного кода цифрового измерителя длительности переходного процесса. Второй метод – метод время-импульсного кодирования – не требует (для СПКЧ) промежуточного преобразования контролируемого выходного сигнала, а использует особенности структуры исследуемых преобразователей.

В структуру рассматриваемых СПКЧ входят блоки: дискретное устройство сравнения временных интервалов, дискретный интегратор ошибки, цифро-аналоговый преобразователь (входным сигналом которого является код с выхода дискретного интегратора ошибки), управляемый (сигналом с выхода цифро-аналогового преобразователя) генератор частоты F и управляемый входным кодом N делитель выходной частоты F . Устройство сравнения временных интервалов производит цифровое сравнение (с использованием время-импульсного метода преобразования) образцового временного интервала T_o и длительности сигнала обратной связи $T_x = N/F$. В квазистановившемся режиме $T_o = T_x$, поэтому $F = N/T_o$. Это позволяет значительно упростить устройство цифрового измерения времени установления сигнала на выходе СПКЧ по сравнению с описанным в [3].

Структурная схема цифрового измерителя длительности переходного процесса, разработанного на кафедре информационно-измерительной и медицинской техники ЮРГТУ (НПИ), содержит следующие узлы: дешифратор число-импульсных кодов, формируемых на выходе устройства сравнения временных интервалов СПКЧ; устройство анализа устойчивого формирования (АУФ) импульсов на выходе дешифратора кодов; триггер; логический элемент И; счетчик импульсов образцовой частоты и выходной регистр. На вход цифрового измерителя времени установления поступают следующие сигналы: число-импульсные коды с устройства сравнения временных интервалов, импульсы образцовой частоты и импульсы смены входного кода СПКЧ, синхронные с началом формирования стабильного временного интервала T_o .

Запуск схемы цифрового измерителя длительности переходного процесса (установка счетчика в состояние логического нуля и запись логической единицы в триггер, коммутирующий элемент И на входе счетчика) осуществляется импульсом смены кода. После записи логической единицы в триггер счетчик начинает формировать выходной код цифрового измерителя. Дешифратор расшифровывает число-импульсные коды, поступающие с выхода устройства сравнения временных интервалов СПКЧ. Сигналы с дешифратора подаются на вход устройства АУФ

импульсов, соответствующих заданному значению погрешности установления выходной частоты СПКЧ, при котором процесс формирования выходной частоты можно считать установившимся. На выходе устройства АУФ импульсов вырабатываются сигналы: импульс записи кода счетчика в выходной регистр (при первом значении кода дешифратора, соответствующем допустимому, т.е. окончанию переходного процесса), импульс записи нулевого кода в выходной регистр (при значениях кода дешифратора, превышающих допустимые) и сигнал установки триггера в нулевое состояние при многократном подтверждении окончания переходного процесса.

Литература

1. А.с. 1229725 СССР. Цифровой электропривод / В.Ф.Митина. – Оpubл. 1986, Бюл. №17.
2. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров / А.-Й. К Марцинкявичюс, Э.-А. К. Багданскис, Р. Л. Пошюнас и др.; Под ред. А.-Й. К. Марцинкявичюса, Э.-А. Багданскиса. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.
3. Кревченко Ю.Р., Митина В.Ф. Особенности измерения времени установления выходной частоты следящих преобразователей код-частота // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы II междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 21 сент. 2001 г.: В 4 ч. / Юж.-Рос. гос. технич. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ООО НПО «ТЕМП», 2001. – Ч. 3. – С. 35-38.

346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), т. 55-2-14, e-mail: iimt@srstu.novoch.ru.

УДК 621.317.015:519.24

МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ВЫБРОСОВ И ПРОВАЛОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В.Ф. Ермаков, Г.А. Джелаухова

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Описанный в докладе анализатор предназначен для одновременного получения семейств функций распределения длительности превышения уровней анализа выбросами и провалами напряжения при различных значениях отклонений напряжения и может быть использовано в электроэнергетике для контроля качества электроэнергии при нестационарном напряжении в промышленных электрических сетях и оценки его влияния на различное электрооборудование.

Известные статистические анализаторы длительности выбросов и провалов напряжения [1, 2] предназначены для исследования только стационарных случайных процессов изменения напряжения и накапливают ложные результаты при анализе нестационарных случайных процессов.

На рис. 1 представлена схема анализатора [3], а на рис. 2 показаны процессы изменения напряжения на выходах преобразователя переменного напряжения в постоянное и фильтров нижних и верхних частот.

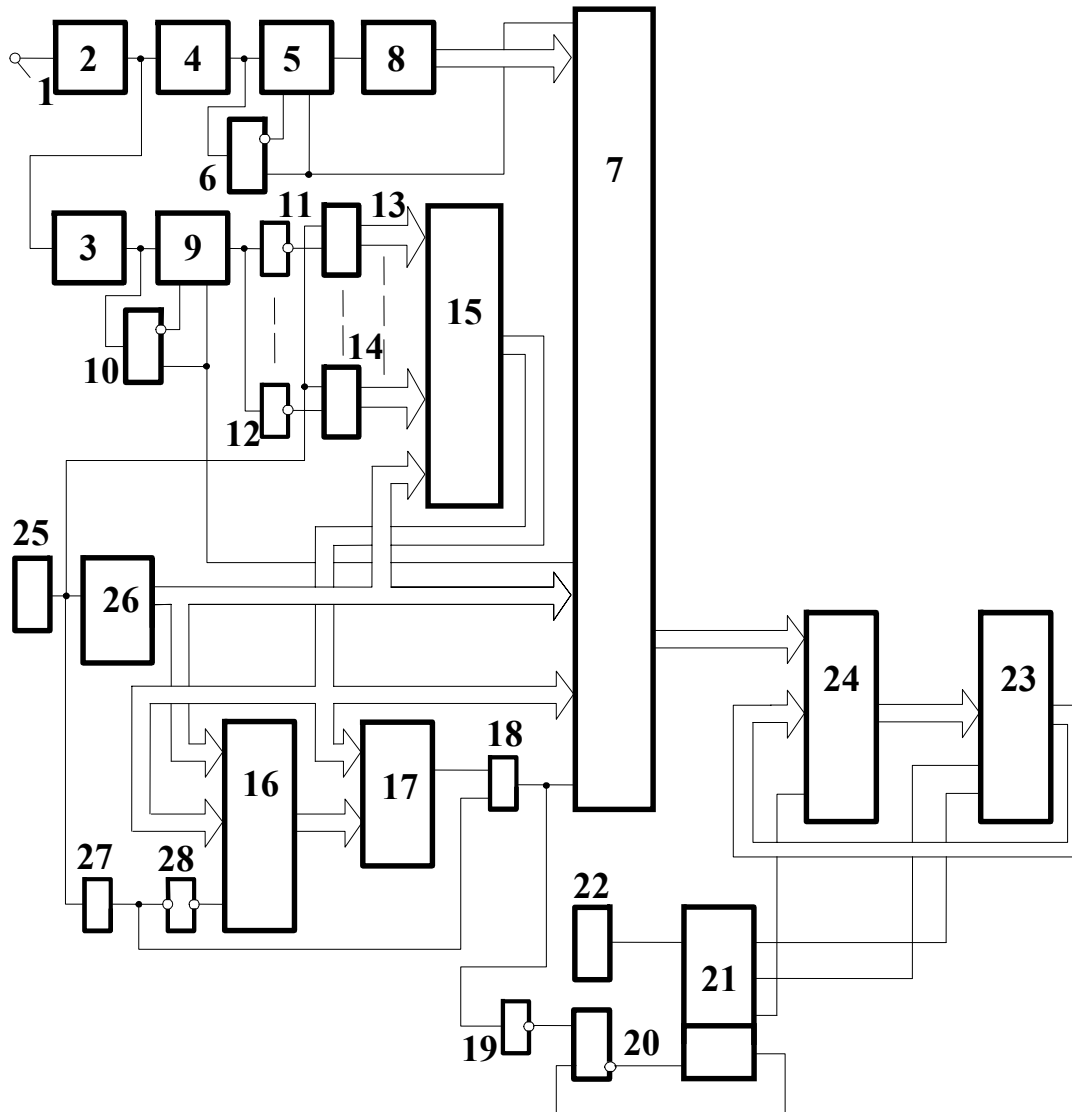


Рис.1. Схема статистического анализатора

Анализатор содержит входную клемму 1, преобразователь 2 переменного напряжения в постоянное (ППНП), фильтр верхних частот (ФВЧ) 3, фильтр нижних частот (ФНЧ) 4, формирователи модуля (ФМ) 5 и 9, нуль-органы (НО) 6 и 10, регистр 7, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 8, n (где n - число уровней анализа амплитуды выброса или глубины провала напряжения) аналоговых компараторов (АК) 11 - 12, n двоичных счетчиков 13 - 14, многоканальный коммутатор 15, цифровые блоки памяти (ЦБП) 16 и 24, цифровой компаратор (ЦК) 17, элементы И 18 и НЕ 19, триггер 20, распределитель 21 уровней (РУ), генераторы прямоугольных импульсов (ГПИ) 22 и 25, двоично-десятичный счетчик 23, управляющий двоичный счетчик 26, одновибраторы 27 и 28.

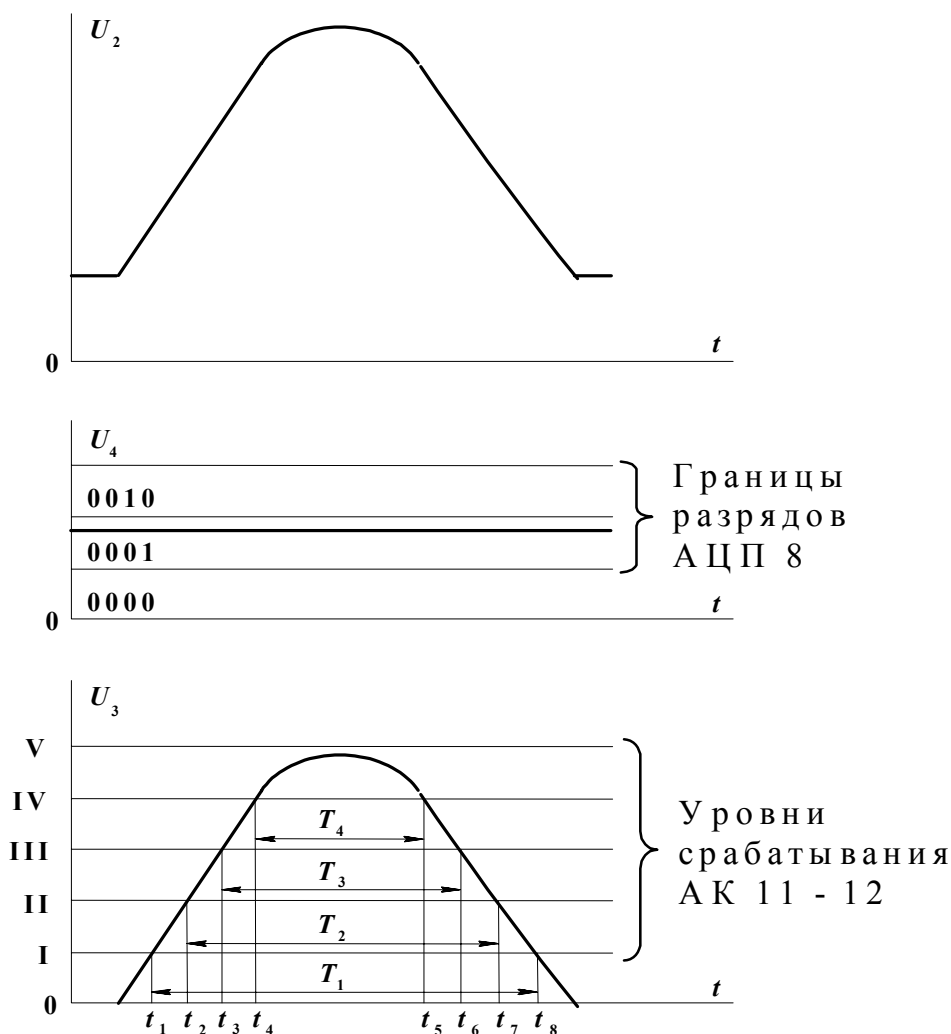


Рис.2. Процессы изменения напряжения на выходах ППНП 2, ФВЧ 3 и ФНЧ 4

Анализатор выполнен многоканальным. Диапазон изменения низкочастотной медленно изменяющейся нестационарной составляющей отклонений напряжения равномерно разбивается границами разрядов АЦП 8. Уровни срабатывания АК 11 - 12 равномерно разбивают диапазон изменения амплитуды выбросов и провалов напряжения. Квантователями длительности выбросов и провалов напряжения выше различных уровней анализа являются двоичные счетчики 13 - 14. Далее в качестве примера рассматривается 16384-канальный анализатор, имеющий одинаковое число квантов отклонений (как выше, так и ниже номинального уровня U_n), а также амплитуды и длительности выбросов и провалов напряжения $n = 16$. Число каналов определяется по формуле: $2 \times n \times 2 \times n \times n = 16384$.

Для повышения точности измерения длительности выбросов и провалов напряжения используются 8-разрядные счетчики 13 - 14, выходы четырех старших разрядов каждого из которых соединены соответственно с информационными входами коммутатора 15.

Счетчик 26 выполнен 4-разрядным.

Генератор 25 выполняется кварцевым.

Частота генератор 22 (которая может быть нестабильной) должна быть на 1 - 2 порядка выше частоты ГПИ 25.

Поле разрядов информационного входа регистра 7 разбито на три группы: первую - группу младших разрядов, отображающих длительность выбросов и провалов напряжения (в рассматриваемом примере включает четыре двоичных разряда); вторую - группу средних разрядов, отображающих амплитуду выбросов и провалов напряжения (включает пять разрядов); третью - группу старших разрядов, отображающих значение отклонений напряжения (включает пять разрядов - четыре отображают модуль отклонений и один отображает их знак).

Фильтры ФВЧ 3 и ФНЧ 4 имеют одинаковую частоту среза 0,1 Гц.

Анализатор работает следующим образом.

С помощью ПНП 2 осуществляется преобразование переменного напряжения сети $u(t)$ в постоянное, пропорциональное действующему значению анализируемого напряжения за вычетом его номинального уровня: $U_2(t) = U(t) - U_n$.

Напряжение U_2 подается на входы фильтров ФНЧ 4 и ФВЧ 3.

Из суммарного сигнала $U_2(t)$ с помощью ФНЧ 4 выделяется низкочастотная составляющая отклонений напряжения δU . При положительных отклонениях δU напряжение U_4 без изменений пропускается через ФМ 5 на вход АЦП 8; напряжение прямого выхода НО 6 равно единице - измеряемые статистики накапливаются в областях ЦБП 24 с адресами 10000000000000 - 11111111111111. В конкретном рассматриваемом на рис. 2 примере значение разрядов третьей группы разрядов информационного входа регистра 7 равно 10001. Следовательно, для рассматриваемого на фиг. 3 (рис. 2) примера измеряемые статистики будут накапливаться в областях ЦБП 24 с адресами 10001000000000 - 10001111111111.

Из суммарного сигнала $U_2(t)$ с помощью ФВЧ 3 выделяется высокочастотная составляющая резкопеременных изменений напряжения - выбросов и провалов. При выбросах напряжения сети выходное напряжение ФВЧ 3 U_3 положительно, оно без изменений пропускается блоком 9 на входы АК 11 - 12; напряжение прямого выхода НО 10 равно единице, измеряемые статистики накапливаются в ячейках ЦБП 24 с адресами XXXXX100000000 - XXXXX111111111 (где X - произвольное значение разряда). Для рассматриваемого на рис.2 примера измеряемые статистики будут накапливаться в областях ЦБП 24 с адресами 10001100000000 - 10001111111111.

Импульсы ГПИ 25 непрерывно поступают на тактовые входы счетчиков 13 - 14, однако при отсутствии выбросов (или провалов) напряжения содержимое счетчиков 13 - 14 остается нулевым, поскольку к их входам установки нуля приложено единичное напряжение с инверсных выходов АК 11 - 12. Четырехразрядный счетчик 26 циклически изменяет свое состояние, в каждом такте генератора 25 также запускаются одновибраторы 27 и 28, однако информация в ЦБП 24 не накапливается, а содержимое ячеек ЦБП 16 поддерживается нулевым.

При появлении провала напряжения сети на прямом выходе НО 10 появляется "0", а блок 9 инвертирует отрицательное напряжение с выхода ФВЧ 3 - в результате на входы АК 11 - 12 подается положительное напряжение, как и при анализе выбросов.

При анализе провалов напряжения анализатор работает так же, как и при анализе выбросов, только информация накапливается в каналах ЦБП 24 с адресами XXXXX000000000 - XXXXX011111111.

Преимуществом предлагаемого анализатора по сравнению с известными является возможность исследования нестационарных случайных процессов.

Литература

1. А.с. 1674156 СССР, МПК G06G 17/18. Анализатор длительности выбросов и провалов напряжения / В.Ф. Ермаков. – 1991, Бюл. № 32.
2. Патент 2054195 РФ, МПК G06G 17/18. Многоуровневый статистический анализатор длительности выбросов и провалов напряжения / В.Ф. Ермаков и Э.И. Хамелис. – 1996, Бюл. № 4.
3. Патент 2189631 РФ, МПК G06G 17/18. Многомерный статистический анализатор выбросов и провалов нестационарного напряжения / В.Ф. Ермаков, Г.А. Джелаухова. – 2002, Бюл. № 26.

346428, г. Новочеркасск, Ростовской обл., ул. Просвещения, 132, Энергетический институт, каф. «Электроснабжение полных предприятий и городов», т. (863-52) 55-6-50, 4-76-48.

УДК 621.398

БАЛАНСНАЯ ТОКОВАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Е.И. Теняков, А.А. Чернявский

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ),
Научно-исследовательское и проектно-изыскательское акционерное общество
«Институт Ростовеэлектропроект»

Рассмотрена балансная токовая система передачи дискретной информации измерения, контроля и управления между удаленными друг от друга передающим и приемным устройствами по двухпроводной линии связи.

Показано, что благодаря использованию стабилизированных токовых сигналов в линии связи на работу системы не влияют изменение в широком диапазоне сопротивления проводов линии связи, а также наличие гармонических и флуктуационных помех.

Это позволяет использовать систему на энергетических объектах и промышленных предприятиях в условиях воздействия сильных электромагнитных полей рассеяния крупных электроагрегатов, силовых кабельных сетей, высоковольтных линий электропередач и т.п.

Балансная токовая система разработана кафедрой информационно-измерительной и медицинской техники Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасский политехнический институт) совместно с Научно-исследовательским и проектно-

изыскательским акционерным обществом «Институт Ростовтеплоэлектро-проект» и предназначена для передачи дискретной информации измерения, контроля и управления между удаленными друг от друга передающим и приемным устройствами по двухпроводной линии связи при повышенном уровне помех. Система может быть использована на энергетических объектах и промышленных предприятиях в условиях воздействия сильных электромагнитных полей рассеяния крупных электроагрегатов, силовых кабельных сетей, высоковольтных линий электропередач и т.п.

Система построена с использованием метода разделения сигналов, получившего название «балансный» [1, 2]. Повышенная помехоустойчивость обеспечивается за счет использования стабилизированных токовых сигналов в линии связи.

На рис. 1 показана структурная схема системы.

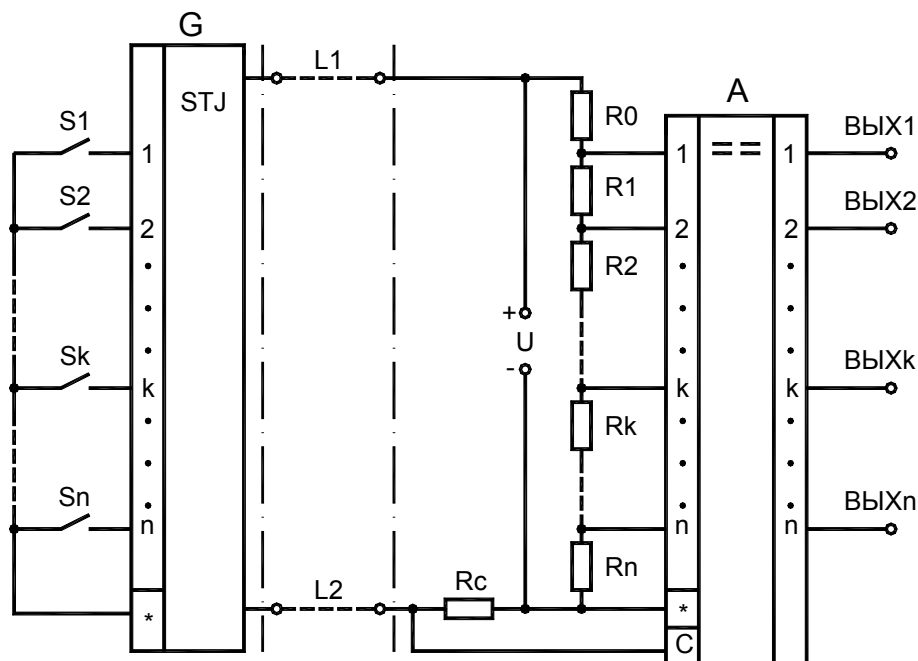


Рис.1. Структурная схема балансной токовой системы

Система содержит передающее устройство, образованное управляемым генератором G стабилизированных токов и ключами $S1, S2 \dots Sn$, и приемное устройство, состоящее из балансного анализатора информации A , ветви резисторов $R0, R1, R2 \dots Rn$, резистора сравнения Rc и источника питания постоянного тока с напряжением U . Приемное и передающее устройства соединены между собой двухпроводной линией связи $L1-L2$. Источник питания подключен к ветви резисторов в приемном устройстве и через линию связи и резистор сравнения Rc – к генератору G в передающем устройстве.

Значение тока в линейной цепи определяется состоянием генератора G и соответствует номеру замкнутого ключа управления в передающем устройстве. Если, например, замкнуть ключ Sk , то в линейной цепи протекает ток I_k . Падение напряжения от этого тока на резисторе Rc поступает

на вход С сравнения анализатора А и сравнивается им с потенциалами всех точек соединения резисторов в ветви приемного устройства. Схема построена так, что выполняется следующее условие для точки k :

$$I_k R_c = U \left(\sum_{i=k}^n R_i / \sum_{i=0}^n R_i \right).$$

При этом управляющий сигнал появляется на выходе Вых $_k$ приемного устройства. На остальных выходах сигналы отсутствуют, так как в этот момент на всех входах анализатора А, кроме точки k , имеет место разбаланс положительной или отрицательной полярности по отношению к входу С сравнения.

Важной особенностью рассматриваемой системы является то, что, благодаря применению генератора стабилизированных токов, на работу системы не влияют изменения в широком диапазоне сопротивления проводов линии связи, а также наличие гармонических и флуктуационных помех, значительно превышающих зону нечувствительности по каждому из входов анализатора А. Это объясняется тем, что значение тока, формируемое в линейной цепи генератором Г, практически не зависит от напряжения на его линейных зажимах, если это напряжение не становится меньше некоторого допустимого значения (2...3 В). Поэтому напряжение помех, складывающееся с напряжением источника питания U , изменяет лишь падение напряжения на выходе генератора Г, но не влияет на значение тока и падение напряжения на резисторе сравнения R_c , т.е. не нарушает баланса системы. Исключение влияния импульсных помех большой амплитуды достигается введением в каждом из каналов анализатора А задержек, перекрывающих максимальную ожидаемую длительность этих помех.

Теоретический анализ системы с токовым разделением сигналов показал, что дальность ее действия составляет:

$$L \leq \frac{1 - \varphi_d}{2[1 + \alpha(t_{\max} - t_{\min})] + p} \cdot \frac{U}{I_{\max} R_0}, \quad (1)$$

где $\varphi_d = U_d/U$ – коэффициент допустимых помех; U_d – допустимая амплитуда гармонических и флуктуационных помех; α – температурный коэффициент сопротивления проводов линии связи; $t_{\max}$ и $t_{\min}$ – максимальное и минимальное значения температуры проводов линии связи; $p = R_c/R_{L0}$ – отношение сопротивления плеча сравнения к активному сопротивлению проводов линии связи при средней рабочей температуре; $I_{\max}$ – наибольшее значение тока в линейной цепи; R_0 – удельное километрическое сопротивление проводов линии связи при средней рабочей температуре.

Практически при $U = 100...120$ В; $\varphi_d = 0,1$; $\alpha = 0,004$ К $^{-1}$; $t_{\max} - t_{\min} = 50$ К; $p = 1...3$; $I_{\max} = 50$ мА и $R_{L0} = 12$ Ом/км, расчетная дальность действия согласно выражению (1) составляет 30...50 км. Поскольку в реальных системах передачи информации на электростанциях и промышленных предприятиях требуемое значение дальности действия не превышает 10...15 км, значение коэффициента φ_d может быть принято равным

0,2...0,3. Это позволяет обеспечить работоспособность системы при амплитуде гармонических и флуктуационных помех $U_d = (0,2...0,3) U$.

На рис. 2 представлены зависимости допустимого значения амплитуды гармонических и флуктуационных помех от требуемой дальности пе-

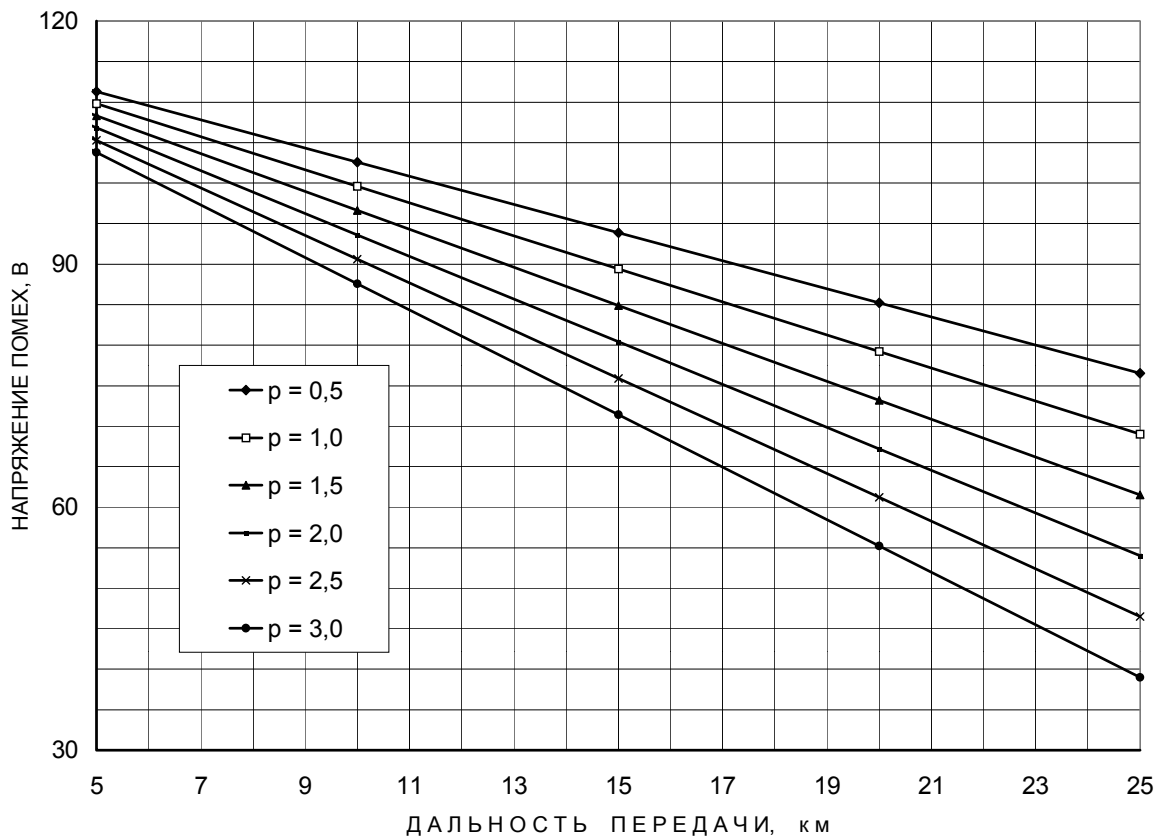


Рис.2. График зависимости дальности передачи информации от уровня помех

редачи сигналов, рассчитанные для значений $\alpha = 0,004 \text{ К}^{-1}$; $t_{\max} - t_{\min} = 50 \text{ К}$; $I_{\max} = 50 \text{ мА}$; $R_{L0} = 12 \text{ Ом/км}$, $U = 120 \text{ В}$ при реально используемых значениях коэффициента p .

Как видно из этих зависимостей, при дальности передачи 15...20 км допустимая амплитуда помех может достигать нескольких десятков вольт, что недостижимо в других системах передачи дискретной информации.

Количество раздельно передаваемых элементов кодируемых сигналов в системе с токовым балансным разделением составляет

$$n = I_{\max} R_c / \varepsilon U, \quad (2)$$

где $\varepsilon = U_{\text{ст}}/U$ – относительный разбаланс в соседних точках системы; $U_{\text{ст}}$ – абсолютное значение напряжения разбаланса на входах анализатора А, соседних с точкой равновесия системы (т.е. для одной ступени разбаланса).

Согласно выражению (2) значение n при $\varphi_d = 0,3...0,5$ и $\varepsilon = 0,01...0,03$, может составить несколько десятков. Этого вполне достаточно для реализации многих функций при передаче одиночных информационных сигналов. При использовании кодированных сигналов значение n может быть практически любым.

На рассмотренном принципе разработаны системы двусторонней передачи информации по одной паре проводов [2], которые нашли применение на энергообъектах, проектируемых ОАО «Институт Ростовтеплоэлектропроект».

Литература

1. Чернявский А.А., Теняков Е.И., Капустин Ю.Д., Никуленков М.В. Балансные системы передачи дискретной информации. – М.: Информэнерго, 1990. – 48 с.
2. Чернявский А.А., Теняков Е.И. Балансная система двусторонней передачи дискретной информации. – М.: БИ, 1992. – № 13.

УДК 621.317.015:519.24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО МОДУЛЯ ПРОИЗВОДНОЙ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

В.Ф. Ермаков, Д.А. Свеколкин

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Описанное в докладе устройство относится к вычислительной и информационно-измерительной технике и может быть использовано в системах электроснабжения для определения среднего модуля производной изменяющегося напряжения.

Известен амплитудный селектор импульсов напряжения, содержащий пороговые элементы, элемент ИЛИ с динамическими входами, распределитель уровней, элемент НЕ и элемент временной задержки сигнала [1].

Недостатком этого устройства являются узкие функциональные возможности (применимость только для расшифровки амплитудного значения поступающих на вход устройства импульсов напряжения).

На рис. 1 представлена схема устройства; на рис. 2 – график, иллюстрирующий работу устройства.

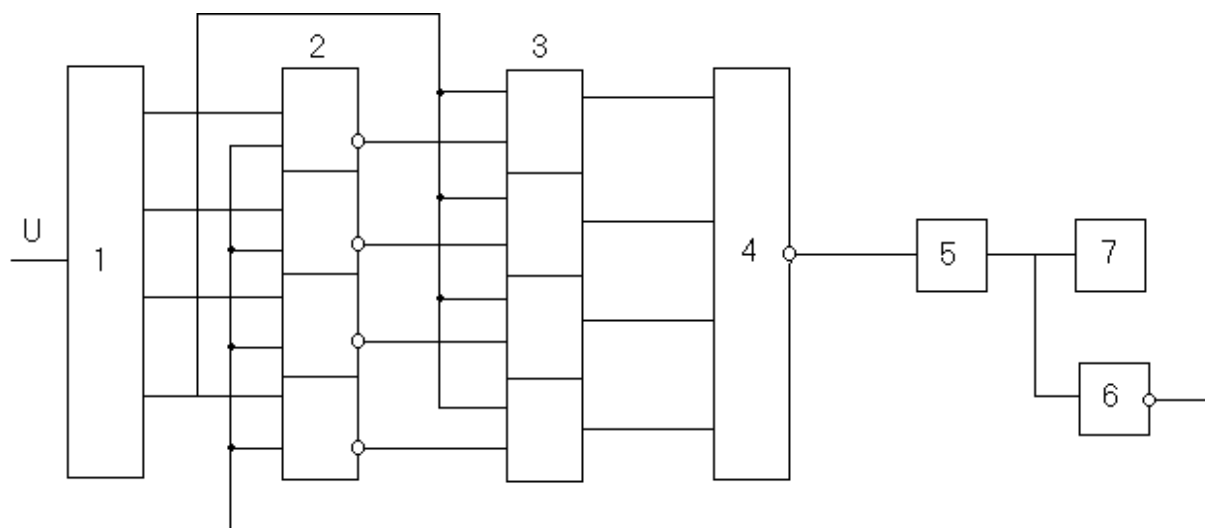


Рис.1. Схема устройства для определения среднего модуля производной напряжения сети

Устройство работает следующим образом.

Аналоговая величина подаваемого на вход АЦП 1 напряжения преобразуется на его выходах в двоичное число. В устройстве используется АЦП 1 параллельного принципа действия, очередное изменение кода на выходах которого происходит лишь после того, как входное напряжение изменяется на величину младшего значащего разряда ΔU .

В статическом режиме число, имеющееся на входах АЦП 1, находится и в запоминающем устройстве, выполненном на D-триггерах 2. Например, в момент времени t_1 (рис. 2) на выходе АЦП 1 имеется число 0000. Это же число хранится в D-триггерах 2, на инверсных выходах которых оно представляется как 1111. Следовательно, на входы каждого из элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 3 подаются различные сигналы. На выходах всех элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 3 при этом присутствует единичное напряжение, а на выходе элемента И-НЕ 4 – нулевое.

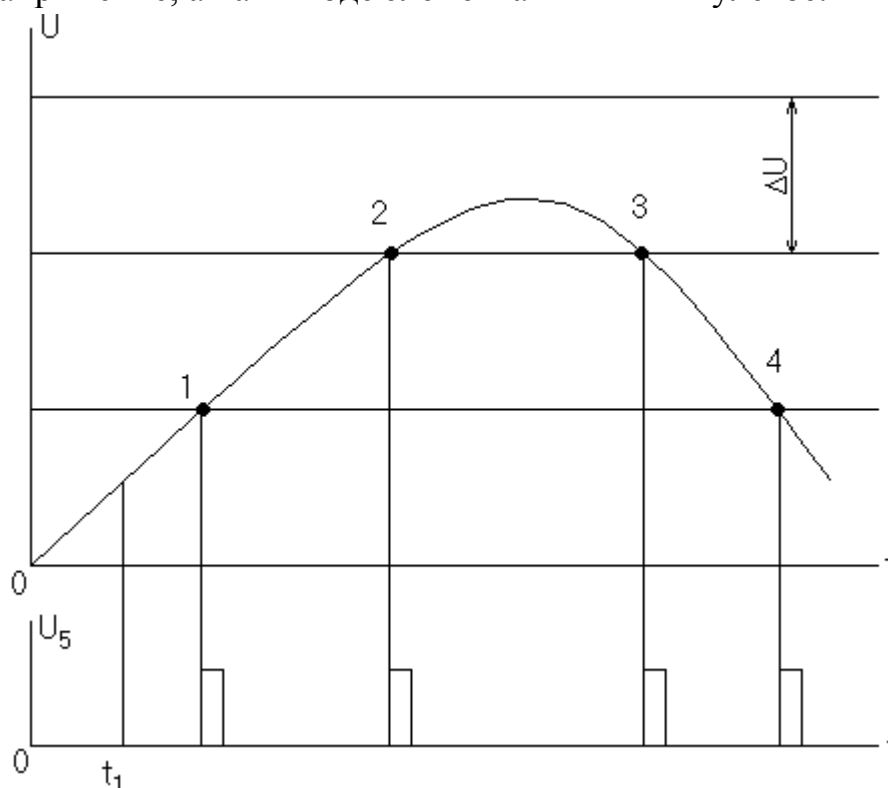


Рис.2. Графики изменения напряжения на элементах схемы устройства

В процессе своего изменения исследуемое напряжение U пересекает границу первого разряда (точка 1, рис. 2), что приводит к срабатыванию АЦП 1: на его выходах появляется число 0001. Так как к входам элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 3 первого разряда приложены одинаковые единичные сигналы, на его выходе появляется нулевое напряжение, а на выходе элемента И-НЕ 4 – единичное. Это напряжение запускает одновибратор 5, на выходе которого появляется единичный импульс, засчитываемый счетчиком 7 импульсов.

После окончания импульса одновибратора 5 в D-триггеры 2 по переднему фронту напряжения с выхода элемента НЕ 6 записывается число

0001, в результате чего выходное напряжение всех элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ вновь становится единичным, а элемента И-НЕ - нулевым.

Аналогичная операция повторяется во всех точках перехода исследуемым напряжением через границы разрядов АЦП 1 (точки 2, 3, 4, и т.д., рис. 2).

По окончании измерений, которые продолжаются время T , определяется суммарное изменение напряжения:

$$W = N\Delta U,$$

где W – суммарное изменение напряжения; N – содержимое счётчика Γ импульсов; U – величина младшего значащего разряда.

По суммарному изменению напряжения W может быть определено значение среднего модуля производной напряжения на интервале T

$$|U'|_{cp} = \frac{W}{T},$$

которое может служить усредненным показателем изменчивости напряжения сети.

Литература

1. А.с. СССР №600725, кл. Н 03 К 13/175, 1975.

346428, г. Новочеркасск, Ростовской обл., ул. Просвещения, 132, Энергетический институт, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий и городов», т. (863-52) 55-6-50, 4-76-48.

УДК 621.372.542

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

С.Л. Кужеков, Н.Р. Чумак, Б.Б. Сербиновский, В.В. Стеблин
Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Предложена система непрерывного контроля маслonaполненных трансформаторов тока, в частности, реализация отложенной обработки данных с применением анализа гармонических составляющих токов утечки на основе быстрого преобразования Фурье.

Применение цифровой обработки сигналов повышает технологический уровень аппаратно-программных средств, повышает надежность функционирования диагностических устройств контроля изоляции маслonaполненных трансформаторов тока (ТТ), а также в значительной степени расширяет круг решаемых задач за счет использования распределенных микропроцессорных систем сбора и обработки информации.

Как показано в [3], ухудшение изоляционных характеристик ТТ является относительно медленно протекающим процессом. Пробой изоляции

может развиваться в течение нескольких дней, в связи с этим возможно построение системы отложенной обработки данных. Применение принципа отложенной обработки данных, в свою очередь, позволяет реализовать ресурсоемкие алгоритмы обработки сигнала на основе относительно недорогих микроконтроллеров семейства MSC-51. Указанные положения используются в усовершенствованной микропроцессорной системе (МПС), реализующей неравновесно-компенсационный метод в цифровом виде. Функциональная схема МПС показана на рисунке 1.

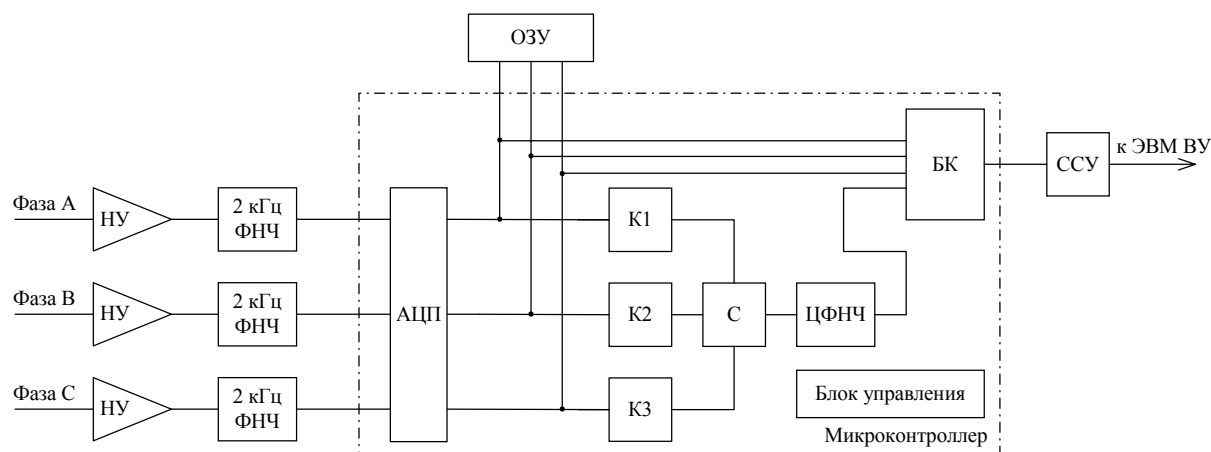


Рис.1. Функциональная схема МПС

Входными сигналами МПС являются напряжения, снимаемые с шунтирующих резисторов, установленных в измерительных цепях каждой из фаз. Напряжения, пропорциональные токам утечки в фазах, поступают на нормирующие усилители (НУ), затем на аналоговые фильтры низкой частоты (ФНЧ) с линейной фазочастотной характеристикой. Отфильтрованный сигнал с основной частотой напряжения электроэнергетической системы (ЭЭС) поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Значения токов утечки в цифровой форме сохраняются в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ). При частоте дискретизации 40 кГц за период промышленной частоты 50Гц выполняется 800 циклов преобразования на каждую фазу; результат преобразования 12-битный.

Выполнив преобразования на 40 периодах основной частоты ЭЭС (при объеме ОЗУ 256 кбайт), АЦП отключается и происходит отложенная обработка полученных данных согласно алгоритму, реализующему неравновесно-компенсационный метод. Для этой цели данные из ОЗУ подаются на корректоры $K_1, \dots, K_3$, осуществляющие выравнивание сигнала перед суммированием путем умножения на постоянный коэффициент, определенный для каждой фазы в момент ввода системы в эксплуатацию. Сумматор (С) выполняет суммирование сигналов токов утечки, что совместно с использованием предварительного выравнивания позволяет в момент ввода системы в работу добиться близкого к нулю значения сигнала небаланса (для основной частоты ЭЭС) на выходе сумматора. Для подавления частот кратных основной применяется цифровой фильтр низкой частоты (ЦФНЧ). Блок контроля (БК) реализует неравновесно-

компенсационный метод путем вычисления отношения сигнала небаланса к минимальному значению тока утечки. Полный цикл сбора и отложенная обработка данных длится 36 секунд.

ЦФНЧ построен на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ) с прореживанием по времени [2]. В связи с известными особенностями БПФ в ЦФНЧ введен алгоритм нормирования отсчетов, преобразующий входную последовательность из 800 отсчетов на период основной частоты ЭЭС в последовательность 1024 отсчета на период. Алгоритм нормирования отсчетов использует способ оценки реальной частоты основной гармоники ЭЭС, описанный в [1]. Результат БПФ поступает на БК, реализующий неравновесно-компенсационный метод.

Основными данными для алгоритма, реализованного в БК, являются значения напряжения основной гармоники ЭЭС. Поскольку частота среза входных аналоговых ФНЧ с линейной фазочастотной характеристикой и гладкой амплитудно-частотной характеристикой равна 2кГц, то в результате БПФ выделяются неискаженные гармоники вплоть до сороковой. В случае превышения уставок срабатывания устройства имеется сигнализация о том, что ТТ данного присоединения находится в предаварийном состоянии. Сигнализация через схему сопряжения уровней (ССУ) передается на ЭВМ верхнего уровня (ЭВМ ВУ) по интерфейсу RS232.

Литература

1. Антонов В.И., Лазарева Н.М., Пуляев В.И. Методы обработки цифровых сигналов энергосистем. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2000 – 84 с.
2. Оппенгейм А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. / Под ред. С.Я. Шаца. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
3. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

УДК 621.317.015:519.24

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ОТКЛОНЕНИЙ И КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ

В.Ф. Ермаков, В.В. Демура

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Описанный в докладе анализатор относится к вычислительной технике и предназначен для получения гистограмм отклонений напряжения относительно номинального уровня и локальных размахов изменений напряжения между экстремумами.

Цель разработки - расширение функциональных возможностей и повышение точности работы анализатора.

Структурная электрическая схема устройства приведена на рис. 1; на рис. 2 и 3 - временные диаграммы работы устройства.

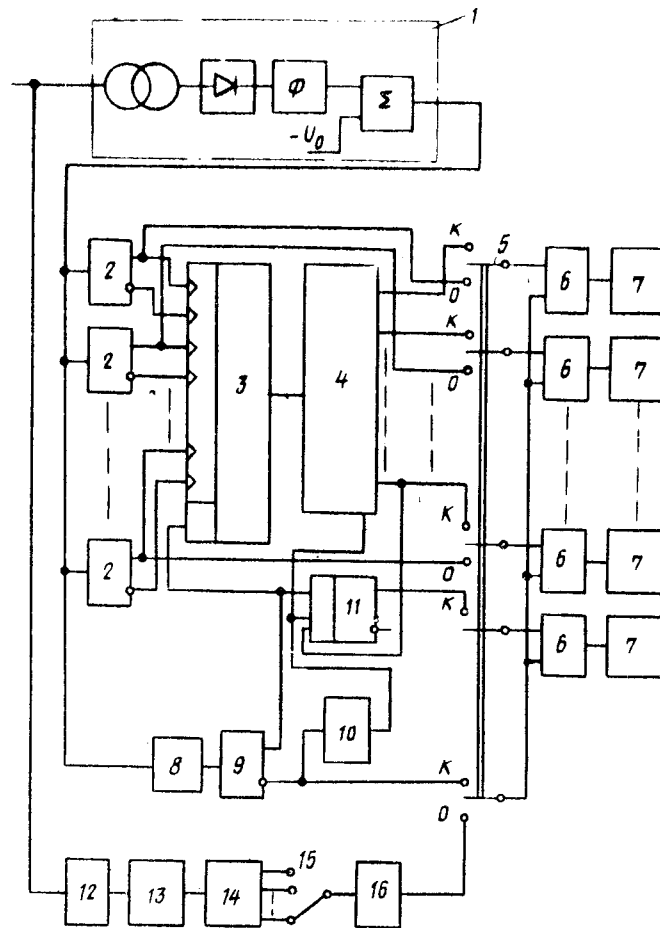


Рис.1. Схема анализатора

Анализатор содержит преобразователь 1, преобразующий переменное напряжение промышленной частоты в изменяющуюся часть его действующего значения, измерительные пороговые элементы 2, элемент ИЛИ-И 3, распределитель уровней 4, многополюсный переключатель 5 на два положения, вентиль записи 6, счетчики импульсов 7, дифференциатор 8, пороговый элемент 9, блок временной задержки 10, Дж-триггер 11, генератор импульсов 12, счетчик импульсов 13, дешифратор 14, переключатель 15 и формирователь одиночного стробирующего импульса 16.

Устройство работает в двух режимах.

В первом режиме многополюсный переключатель 5 находится в положении "К". Перед началом измерений все счетчики 7, распределитель 4 и триггер 11 находятся в нулевом состоянии. Напряжение $U_{вх}$ с выхода преобразователя 1 поступает на входы измерительных пороговых элементов 2 и дифференциатора 8. Уровни срабатывания измерительных пороговых элементов 2 расставлены по равномерному закону и отличаются друг от друга на одинаковую величину ΔU . В момент времени (рис. 2) производная напряжения достигает значения 1%, пороговый элемент 9 срабатывает и открывает элемент ИЛИ-И 3, а также опрокидывает триггер 11 в единичное состояние, напряжение триггера 11 прикладывается к входу вентиля 6 первого канала, однако запись информации в счетчик 7 не производится, так как вентиль заперт нулевым напряжением, с инверсного

выхода порогового элемента 9. При дальнейшем изменении напряжение $U_{вх}$ превышает уровень срабатывания измерительного порогового элемента 2 (точка 1 на рис. 2), появляющийся при этом на выходе элемента ИЛИ-И 3 импульс поступает на вход распределителя 4 и переводит его в

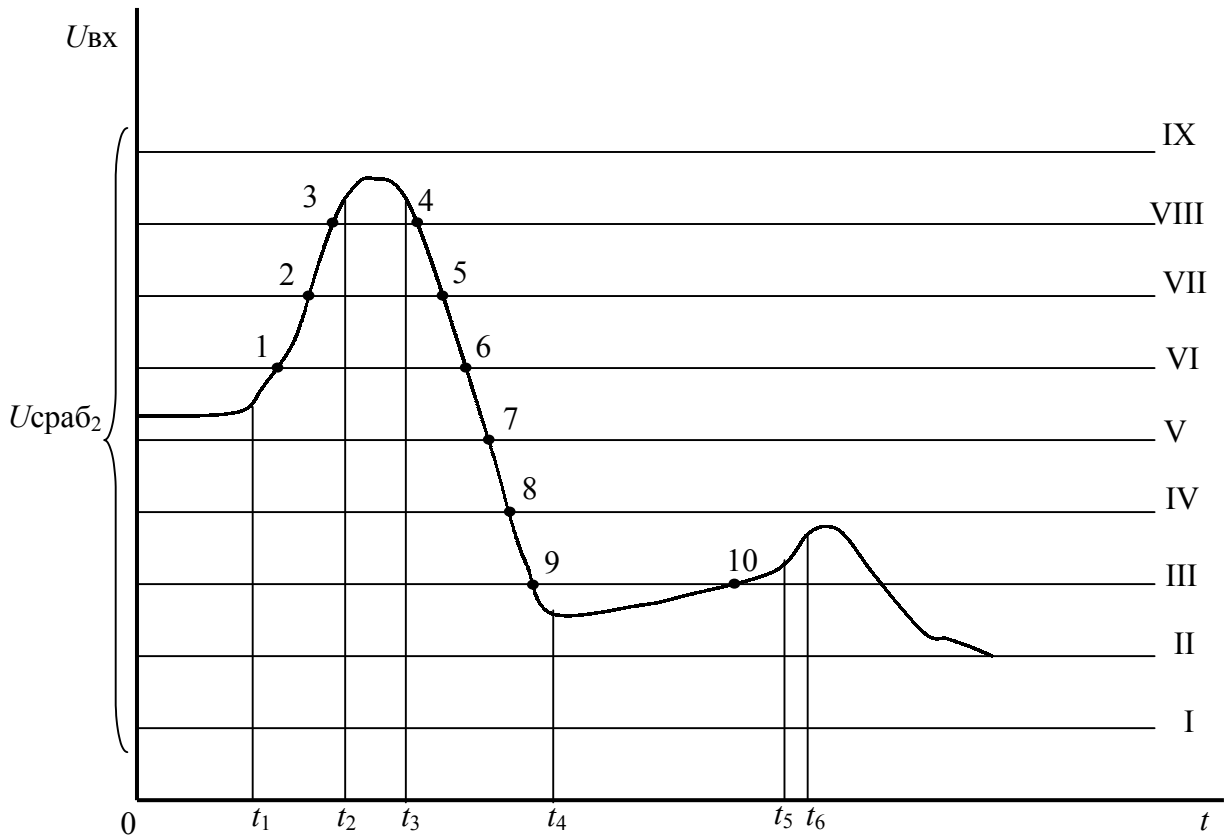


Рис.2. Иллюстрация алгоритма анализа размахов изменений напряжения

состояние "1". Управляющее напряжение появляется на первом выходе распределителя 4 и прикладывается к входу вентиля 6. Одновременно с этим переводится в нулевое состояние триггер 11, который снимает управляющий сигнал с входа вентиля 6. При срабатывании порогового элемента 2 (точка 2 на рис. 2) распределитель 4 переходит в состояние "2" - управляющее напряжение исчезает на его первом выходе и появляется на втором. В момент времени t_2 (рис. 2) производная напряжения становится меньше 1% за с. Пороговый элемент 9 отпускает, закрывая элемент ИЛИ-И 3 и подавая на вторые входы вентиля 6 стробирующее напряжение. В счетчик 7 при этом записывается единица, напряжением с выхода блока 10 распределитель 4 возвращается в исходное нулевое состояние и подготавливается к расшифровке следующего колебания напряжения.

Аналогично работает устройство при отрицательной производной напряжения $U_{вх}$. При снижении напряжения и увеличении при этом модуля производной U'_1 до значения 1% за с. (например, в момент t_3 на рис. 2) срабатывает пороговый элемент 9, открывая элемент ИЛИ-И 3. отпускание измерительного порогового элемента 2 приводит к появлению импульса единичного напряжения на его инверсном выходе и, следовательно, к по-

явлению импульса на выходе распределителя 4, который при этом устанавливается в состояние "1". Отпускание измерительного порогового элемента 2 приводит к установке распределителя 4 в состояние "2" и т.д. Всего на интервале $t_3 - t_4$ на вход распределителя 4 поступает 6 импульсов, распределитель 4 устанавливается в состояние "6".

После окончания колебания напряжения $U_{вх}$ единица записывается в счетчик 7. На участках кривой исследуемого напряжения со значениями производной U' меньшими 1% за с. элемент ИЛИ-И 3 закрыт для импульсов, следующих с выходов измерительных пороговых элементов 2. Поэтому при срабатывании (или отпуске) измерительных пороговых элементов 2 на таких участках (например, в точке 10) состояние распределителя 4, триггера 11 не меняется и запись информации в счетчики 7 не производится. Запись в счетчик 7 осуществляется при возникновении малых по величине колебаний напряжения, протекание которых не сопровождается срабатываниями (или отпусками) измерительных пороговых элементов 2 (например, на участке $t_5 - t_6$, рис. 2).

После окончания измерений по содержимому счетчиков 7 строится распределение колебаний напряжения в электрической сети, по которому производится оценка качества напряжения.

Второй режим работы устройства - режим анализа отклонения напряжения (рис. 3).

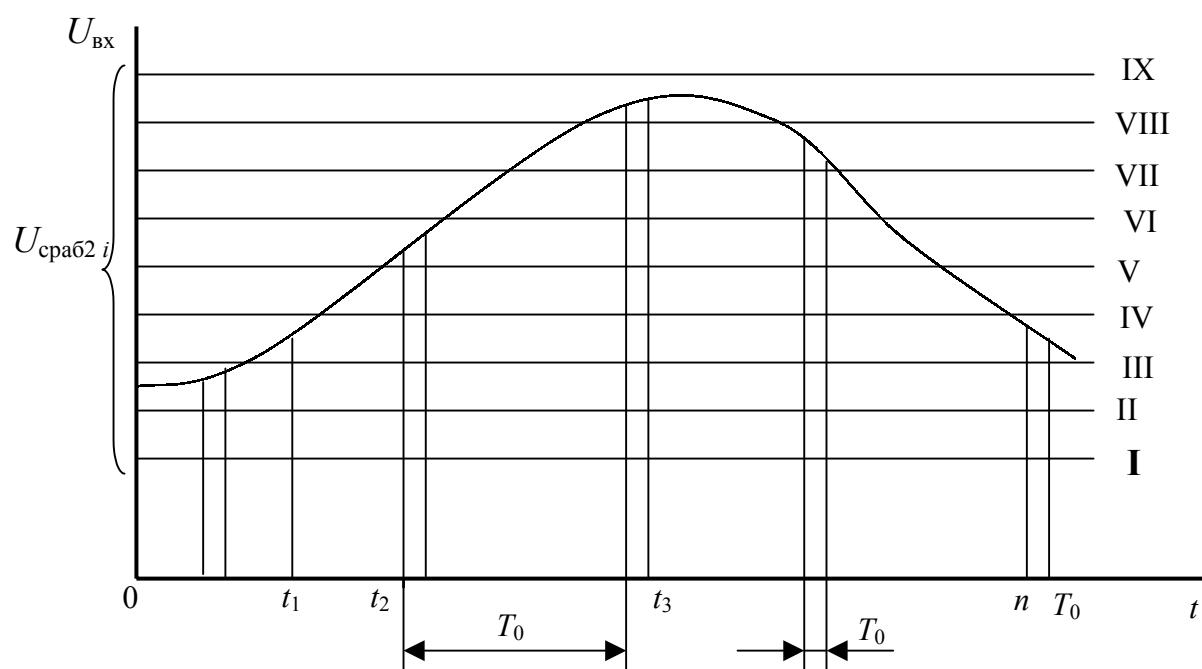


Рис.3. Иллюстрация алгоритма анализа отклонений напряжения

При работе анализатора в этом режиме многополосный переключатель 5 устанавливается в положение "0". Положением переключателя 15 задается интервал дискретизации T_0 случайного процесса напряжения электрической сети $U(t)$. В процессе работы устройства некоторая часть измерительных пороговых элементов 2 находится в сработавшем состоя-

нии. В таком состоянии находятся измерительные пороговые элементы 2, уставки срабатывания которых оказываются ниже уровня анализируемого напряжения $U(t)$. Однако каналы счета этих элементов срабатывают лишь при появлении стробирующего импульса выборки с выхода формирователя 16 (в моменты $t_1, t_2, t_3, \dots, T_0$, рис. 3). Генератор 12 вырабатывает на выходе прямоугольные счетные импульсы. Эти импульсы подсчитываются счетчиком 13. Состояние счетчика 13 расшифровывается дешифратором 14. При появлении сигнала на выходе дешифратора 14 формирователем 16 вырабатывается узкий прямоугольный импульс, стробирующий входы всех вентилях 6, и осуществляется выборка исследуемого процесса напряжения. В результате такой выборки записывается по единице в те счетчики 7, для которых выполняется неравенство:

$$U(nT_0) > U_{сраб2i},$$

где $U(nT_0)$ - значение исследуемого напряжения $U(t)$ в момент n -й выборки; $U_{сраб2i}$ - напряжение срабатывания порогового элемента 2 i -го канала.

После окончания измерений по содержимому счетчиков 7 строится гистограмма отклонений напряжения, по которой может быть выполнена оценка качества напряжения.

УДК 621.391.274

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИКА НА СИГНАЛ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

И.Н. Таранов, С.Н. Печёнкин, Б.В. Сорокин

Филиал Южно-Уральского государственного университета, г. Златоуст

Предлагается способ нахождения реакции длинной линии со сложным характером распределенных и сосредоточенных параметров на импульсный сигнал произвольной формы, в основе которого лежат экспериментально определенные АЧХ, ФЧХ и ВХ.

Реальные электротехнические устройства с распределёнными параметрами, такие как длинные линии в телефонии, имеют сложную и достаточно трудно предсказуемую реакцию на импульсный сигнал произвольной формы [1].

Информация о реакции линии на такой сигнал необходима при создании систем импульсного уплотнения каналов связи, в частности, для определения параметров направляющих систем, выбора оптимальной формы импульсов и прогнозирования работы устройства в целом.

Предлагается при уплотнении физической линии производить снятие следующих характеристик:

- амплитудно–частотной (АЧХ);
- фазочастотной (ФЧХ);
- времени распространения (ВХ).

Далее параметры импульсного сигнала вводятся в программу разложения функции в ряд Фурье. Затем для каждой гармоники находится реакция линии по известным АЧХ, ФЧХ, ВХ. На окончательном этапе вычислений происходит суммирование реакций линии на все гармоники и анализируется окончательный результат. Путем выбора временных параметров импульсного сигнала и последовательной коррекции его формы можно добиться минимального искажения сигнала при его прохождении по длинной линии.

Предлагаемый способ был использован при создании многоканальной системы импульсно-временного уплотнения телефонной линии.

Литература

1. Боева Н.Н. Многоканальная электросвязь и РРЛ. – М.: Радио и связь, 1988. – 312 с.

456209, г. Златоуст, ул. Тургенева, 16, т. (8–35136–6–58–69), e-mail: taranof@mail.ru.

УДК 621.317.015:519.24

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ

В.Ф. Ермаков, В.А. Мурзаков

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Предлагаемый в докладе анализатор относится к области информационно-измерительной и вычислительной техники и может быть использован, в частности, для получения двумерного распределения величины и длительности колебаний напряжения промышленной электрической сети в функции частоты.

Недостатки известных анализаторов заключаются в том, что с их помощью можно получить только одномерное распределение величины колебаний напряжения в функции от частоты.

Целью доклада является расширение функциональных возможностей анализатора за счёт получения двумерного распределения величины и длительности колебаний в функции от частоты.

Блок-схема представлена на рис. 1.; на рис. 2 показана временная диаграмма работы анализатора.

Устройство содержит блок 1 выпрямления и сглаживания входных сигналов, блок 2 выделения колебаний напряжения, дифференциатор 3, пороговый элемент 4, амплитудный селектор 5, элементы И 6, счётчики 7, генератор 8 прямоугольных импульсов, элемент 9 задержки, дополнительный элемент 10 И, распределитель 11 уровней, запоминающий блок 12.

Статистический анализатор работает следующим образом.

Выпрямленное и сглаженное блоком 1 напряжение сети поступает на вход дифференциатора 3 и блока 2. Блок 2 выделяет колебания напряжения сети, признаком которой является превышение производной напря-

жения U_{bk} значения 1 %/с. Такого значения производная U'_{bk} достигает в момент времени t_1 (рис. 2). При этом на выходе блока 2 начинает выде-

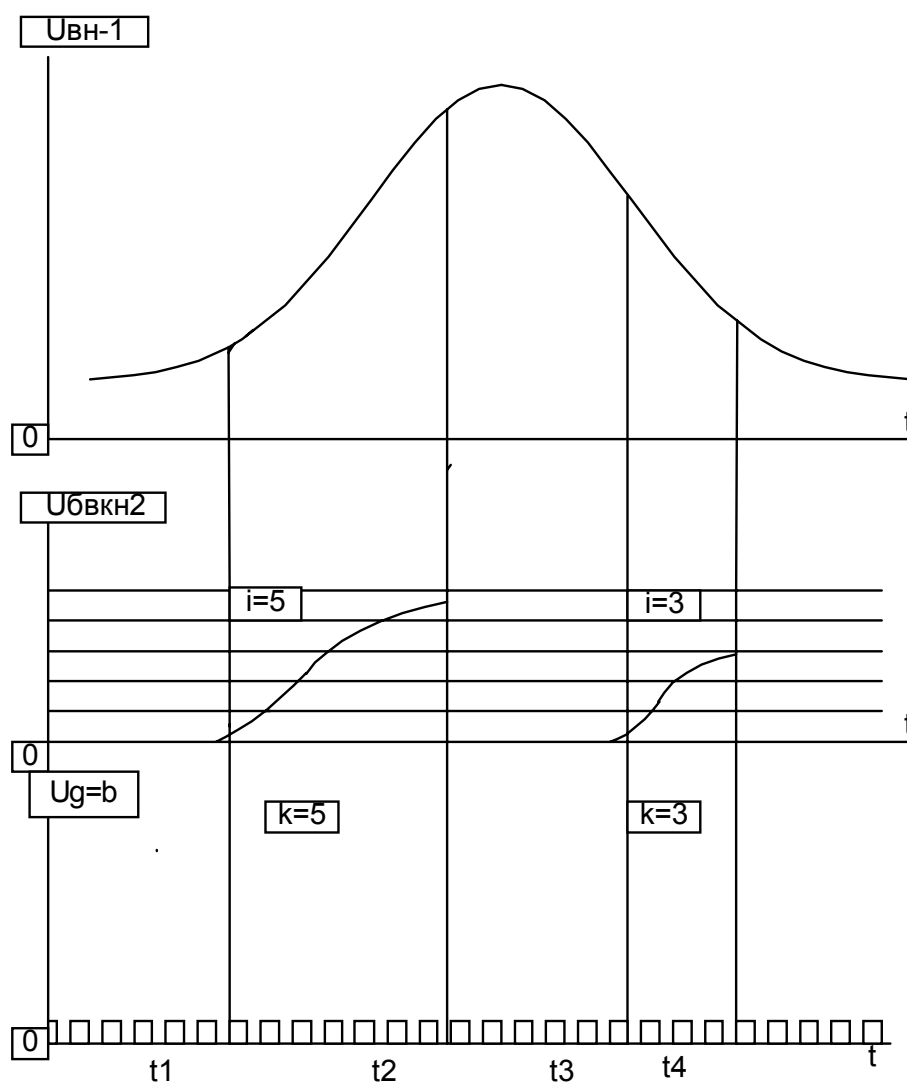


Рис.2. График изменения напряжения на элементах схемы анализатора

латься импульс колебания напряжения (рис. 2б), дополнительный элемент И 10 начинает пропускать на вход распределителя уровней 11 счётные импульсы генератора 8 (рис. 2в). Растущее на выходе блока 2 напряжение поступает на вход амплитудного селектора 5 и приводит к последовательному срабатыванию его каналов, причём единичное напряжение появляется на верхнем сработавшем канале амплитудного селектора, а на выходах всех других каналов амплитудного селектора напряжение равно нулю. Единичное напряжение с выхода 5 прикладывается к элементам И 6, однако запись информации в соответствующий счётчик производится лишь после окончания колебания напряжения (в момент t_2) и подачи на третьи входы элементов И 6 стробирующего напряжения с инверсного выхода управляющего элемента 4. Каждый следующий импульс с выхода генератора 8 меняет состояние распределителя уровней 11 на единицу, т.е. переводит управляющее напряжение с его предыдущего выхода на последующий.

В течение колебания напряжения на участке t_1 - t_2 на выход распределителя уровней 11 поступает пять импульсов генератора, и в момент времени t_2 единичное напряжение присутствует на выходе пятого канала распределителя 11, а верхним сработавшим каналом амплитудного селектора 5 в этот момент оказывается пятый. Появляющееся в момент времени t_2 на инверсном выходе порогового элемента 4 напряжение стробирует первые входы элементов И 6 и в счётчик записывается единица.

Аналогично работает устройство при спадающем колебании напряжения (например, на участке t_3 - t_4), т.к. блок 2 выделяет модуль колебания напряжения.

После накопления достаточной информации по содержимому счётчиков 7 строится двумерное распределение величины и длительности колебаний напряжения электрической сети в функции частоты, по которому может быть выполнена оценка качества электрической энергии сети.

Преимуществом анализатора является возможность получения с его помощью более полной информации о колебаниях напряжения, чем с помощью известных устройств.

УДК 51-7:621.396

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА

В.И. Марчук, Г.Р. Саакян, В.В. Палько

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Описан усовершенствованный вариант разработанного авторами метода выделения функции полезного сигнала из аддитивного шума.

В работе [1] рассматривался метод выделения функции полезного сигнала в условиях априорной недостаточности информации об аддитивной шумовой составляющей, названный авторами методом пространственно-временной аппроксимации. Необходимая априорная информация об ис-

следующем процессе заключается в том, что на не слишком больших подынтервалах $\Delta_j \subset [0; T]$, где $[0; T]$ – длительность реализации, полезный сигнал достаточно точно описывается полиномом второй степени (гладкость по Андерсону [2]).

Рассматриваемый метод предполагает:

- 1) разбиение отрезка $[0; T]$ на случайные промежутки (покрытия) τ_{ij} точками, равномерно распределенными на данном отрезке;
- 2) проверку того, что каждое покрытие включает не менее l значений исходной реализации, где $l > 3$ (если это условие не выполняется, то генерируется следующее разбиение);
- 3) нахождение для каждого покрытия оценок коэффициентов аппроксимирующего полинома $a + bt + ct^2$ методом наименьших квадратов;
- 4) повторение m раз процедур, описанных в пунктах 1-3.
- 5) Указанный метод позволяет получить оценку $\tilde{S}(t_i)$ значения $S(t)$

в сечении времени $t = t_j$ в виде

$$\tilde{S}(t_j) = \frac{f_{1j} \frac{1}{\tilde{d}_1^j} + f_{2j} \frac{1}{\tilde{d}_2^j} + \dots + f_{mj} \frac{1}{\tilde{d}_m^j}}{\frac{1}{\tilde{d}_1^j} + \frac{1}{\tilde{d}_2^j} + \dots + \frac{1}{\tilde{d}_m^j}} = \frac{\sum_{i=1}^m f_{ij} \frac{1}{\tilde{d}_i^j}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{\tilde{d}_i^j}}. \quad (1)$$

Здесь $f_{ij} = f_i(t_j)$, где f_i – кусочно-квадратичная функция, аппроксимирующая исходную реализацию для i -го разбиения ($i=1, \dots, m$) отрезка $[0; T]$:

[illegible]

$$\tilde{d}_i^j = |f_{ij} - M_j| \quad - \text{расстояние от } f_{ij} \text{ до среднего по сечению } t = t_j$$

$$M_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_{ij} .$$

Заметим, что в случае совпадения всех значений f_{ij} в j -м сечении $t = t_j$, т.е. при $f_{1j} = f_{2j} = \dots = f_{mj} = f^{(j)}$, из (1) формально получим $\tilde{S}(t_j) = f^{(j)}$. Фактически же формула (1) непригодна в прежнем виде при обращении в нуль хотя бы одного из чисел $\tilde{d}_i^j$. Для устранения указанного недостатка в качестве весовых коэффициентов в формуле (1) вместо $1/\tilde{d}_i^j$ следует брать $d_i^j = 1/2^{\tilde{d}_i^j}$. В этом случае формула (1) приобретает вид

$$\tilde{S}(t_j) = \frac{\sum d_i^j f_{ij}}{\sum d_i^j},$$

где $d_i^j = 1/2^{\tilde{d}_i^j}$, $\tilde{d}_i^j = |f_{ij} - M_j|$.

Очевидно, что «доля» слагаемого $d_i^j f_{ij}$ в сумме $\sum_{i=1}^m d_i^j f_{ij}$ будет тем выше, чем меньше расстояние $\tilde{d}_i^j$ между значением f_{ij} и средним M_j в j -м сечении $t = t_j$. При этом весовые коэффициенты $0 < d_i^j \leq 1$ могут рассматриваться как вероятности совпадения значения f_{ij} со средним M_j , и наибольшего значения 1 коэффициент d_i^j достигнет при равенстве $f_{ij} = M_j$.

«Чувствительность» рассматриваемого метода можно регулировать: вместо $d_i^j = 1/2^{\tilde{d}_i^j}$ можно брать $d_i^j = 1/\varepsilon^{\tilde{d}_i^j}$, где $\varepsilon > 1$. Величину ε можно подобрать, пользуясь системой экспертных оценок или средствами имитационного моделирования.

Таким образом, получается целая шкала оценок функции полезного сигнала, пользуясь которой можно выбирать оценку исходя из выбранного критерия качества фильтрации.

Литература

1. Марчук В.И., Саакян О.В., Саакян Г.Р. Пространственно-временная аппроксимация при выделении сигнала для случая априорной недостаточности // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион.: Техн. науки, 1999. – № 3. – С. 67 – 70.
2. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 765 с.

346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147, ЮРГУЭС, каф. РТ, т. 20433 (доб. 281),
e-mail: marchuk@sssu.ru.

УДК 621.317.015:519.24

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР АМПЛИТУД НАПРЯЖЕНИЯ

В.Ф. Ермаков, В.А. Мурзаков

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Предлагаемое в докладе устройство относится к области информационно-измерительной и вычислительной техники и может быть использовано, в частности, в электроэнергетике при аппаратурном контроле качества напряжения в электрических сетях.

На рис. 1 представлена структурная схема устройства; на рис. 2 – графические изменения напряжения на элементах схемы.

Устройство содержит пороговые элементы 1, элементы ИЛИ 2 и 3 с динамическим входом, триггер 4 типа RS, формирователь 5 одиночного импульса, элементы И 6, счетчики 7 импульсов.

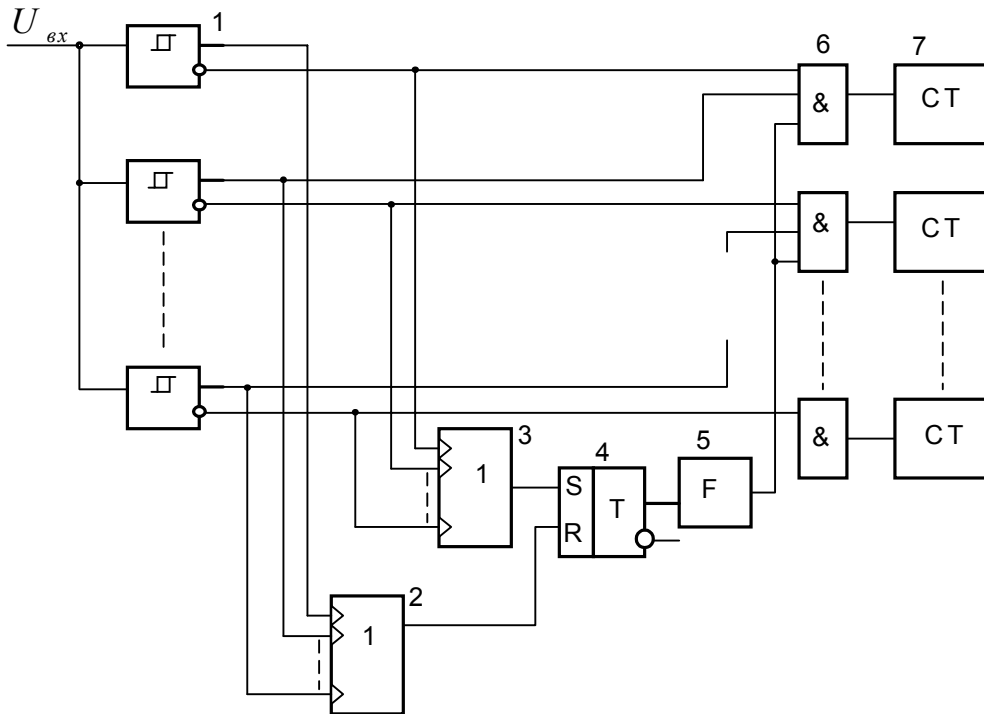


Рис.3. Структурная схема объекта

Устройство выполнено n -канальным, уровни срабатывания пороговых элементов 1 каналов расставлены по равномерному закону с шагом ΔU .

Устройство работает следующим образом.

На вход устройства подается отклонение напряжения сети от номинального значения (рис. 2а) $U_{вх} = V = U - U_n$.

В процессе изменения напряжение $U_{вх}$ пересекает нулевое значение (в момент времени t_1 на рис. 2), что приводит к срабатыванию порогового элемента 1 первого канала и появлению единичного импульса на выходе элемента ИЛИ 2 (рис. 2в). Этот импульс переводит триггер 4 в нулевое состояние. Дальнейший рост напряжения $U_{вх}$ сопровождается поочередным срабатыванием пороговых элементов 1 второго, третьего, четвертого и пятого каналов. Поступающие при этом на вход R триггера 4 единичные импульсы напряжения не меняют состояние триггера, а лишь повышают надежность работы устройства в целом. После прохождения выбросом напряжения своего амплитудного значения, напряжение $U_{вх}$ начинает снижаться, что в момент времени t_2 приводит к отпусканью порогового элемента 1 пятого канала. При этом с выхода элемента ИЛИ 3 на вход S триггера 4 поступит единичный импульс напряжения (рис. 2г), который переводит триггер 4 в единичное состояние. А это в свою очередь приводит к запуску формирователя 5, выходное напряжение которого стробирует третьи входы всех элементов 6 совпадения анализатора. Так как в момент времени t_2 подго-

товленным к срабатыванию был пятый канал устройства, то после стробирования единицы записывается в счетчик СТ 7 пятого канала.

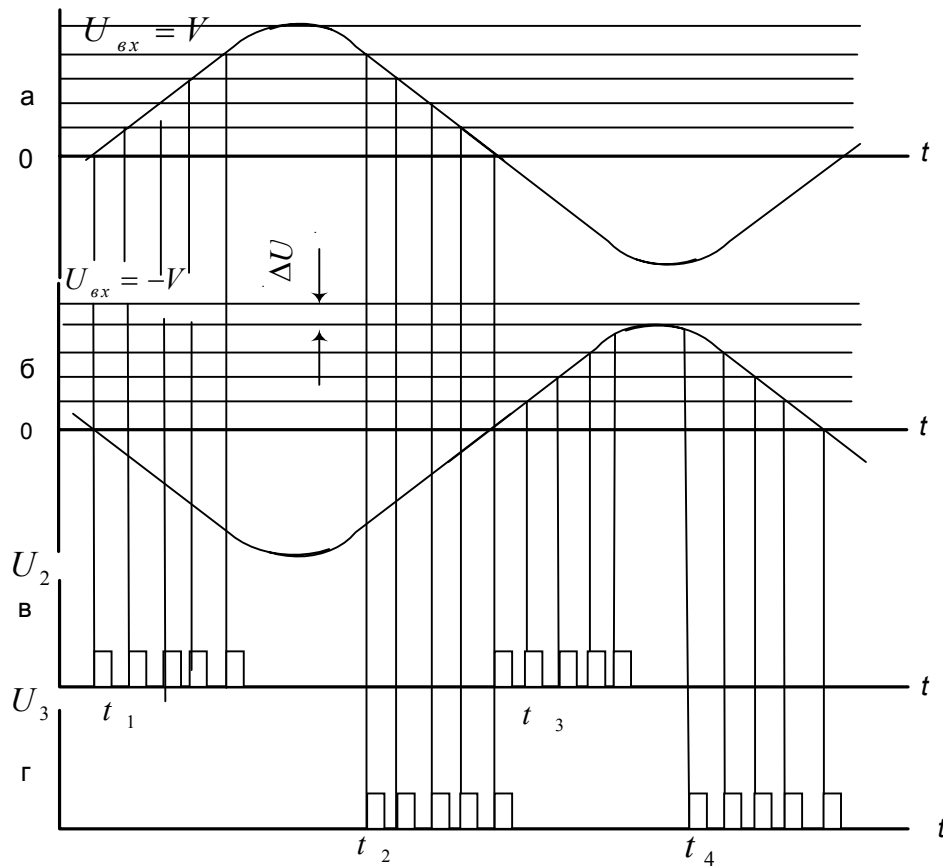


Рис.4. График изменения напряжения на элементах схемы анализатора

Таким образом расшифровывается каждый выброс напряжения U_{ex} , причем каждый выброс засчитывается счетчиком, номер которого соответствует амплитуде выброса. После накопления достаточного объема информации по содержимому счетчиков 7 строится гистограмма выбросов напряжения, по которой оценивают качество напряжения исследуемой электрической сети.

При анализе провалов напряжения необходимо инвертировать входное напряжение (рис. 2б). $U_{ex} = -V = -(U - U_n)$.

В этом случае устройство работает, как описано выше. В момент t_3 напряжение U_{ex} превышает нулевое значение, срабатывает пороговый элемент 1 первого канала, триггер 4 импульсом со входа элемента ИЛИ 2 переводится в нулевое состояние. А в момент t_4 единица записывается в счетчик СТ 7 пятого канала. По содержимому счетчиков 7 строится гистограмма провалов напряжения, которая является другой характеристикой качества исследуемого напряжения. Вследствие отсутствия в схеме дифференциатора предлагаемое устройство отличается большей помехоустойчивостью, чем известные и в то же время по своим функциональным возможностям не уступает им. Схема устройства полностью реализуется на интегральных схемах.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ «РАЗОЦ»

А.И. Шерстобитов, В.И. Марчук

Южно-российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Рассматриваются вопросы принятия решения о значении оценки величины тренда при использовании метода выделения «РАЗОЦ». Приводятся результаты теоретического и практического характера, позволяющие существенно повысить точность оценки функции тренда.

Решение задачи выделения полезного сигнала при ограниченном объеме априорной информации методом «РАЗОЦ» [1] требует принятия решения о вычислении оценки после обработки исходной выборки (результатов измерения). В статье [2] показано, что при разномножении исходной выборки методом «РАЗОЦ», погрешность выделения полезного сигнала в каждом сечении (в каждый момент времени) имеет не гауссовский закон распределения.

Данная работа посвящена теоретическому анализу определения функции распределения погрешности аппроксимации в каждый момент времени, при получении оценки полезной составляющей методом «РАЗОЦ» и проверки полученных результатов на основе проведения имитационного моделирования. Априорные данные соответствуют предположениям, приведенным в работе [2].

Теоретический анализ показал, что плотность распределения ошибки аппроксимации в каждом сечении имеет нормальный закон распределения. Были получены выражения для математического ожидания и дисперсии ошибки выделения тренда:

$$M_{\hat{s}} \{ \hat{s}(T) \} = \sum_{k=1}^m s(t_k) \alpha_k, \quad D_{\hat{s}} \{ \hat{s}(T) \} = \sum_{k=1}^m \alpha_k^2,$$

где

$$\alpha_k = \left(\frac{180(t_k^2 - (m+1)t_k) + 30(m^2 + 3m + 2)}{m(m^4 - 5m^2 + 4)} \right) T^2 + \left(\frac{(192m^2 + 360m + 132)t_k - (m+1)180t_k^2}{m(m^4 - 5m^2 + 4)} - \right. \\ \left. - \frac{36m^3 + 126m^2 + 126m + 36}{m(m^4 - 5m^2 + 4)} \right) T + \frac{30t_k^2(m^2 + 3m + 2) - t_k(36m^3 + 126m^2 + 126m + 36)}{m(m^4 - 5m^2 + 4)} + \\ \frac{9m^4 + 36m^3 + 51m^2 + 36m + 12}{m(m^4 - 5m^2 + 4)},$$

где $s(t_k)$ – исходная реализация; $\hat{s}(T)$ – оценка; m – объем выборки; T – некоторое фиксированное сечение, для которого определяется закон распределения ошибки; t_k – текущее значение номера отсчета.

Результаты имитационного моделирования показали, что асимметрия плотности распределения ошибки присутствует аналогично результатам, приведенным в работе [1]. На рис. 1 видно, что плотность распределе-

ния ошибки в большинстве сечений имеет асимметричный характер. Подробный анализ сечений плотности распределения ошибки показал, что при увеличении числа оценок (размножений) закон распределения погрешности стремится к нормальному. Однако на основе проведенных исследований можно утверждать, что вклад значений асимметричного участка плотности распределения ошибки при числе размножений более 25 оказывает незначительное влияние на среднее значение.

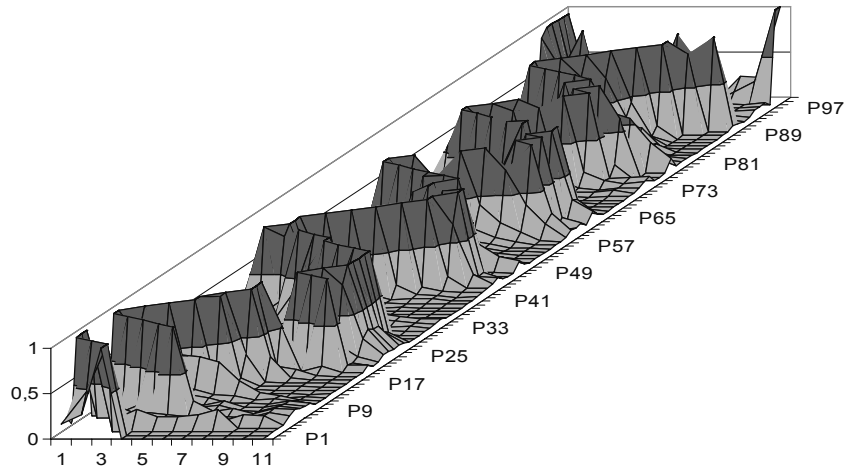


Рис.1. Плотность распределения ошибок выделения

На основе проведенных исследований сделаем ряд выводов:

- теоретически было показано, что плотность распределения ошибки, при использовании метода «РАЗОЦ», стремится к нормальному закону распределения при увеличении числа размножений;
- исследования на основе имитационного моделирования показали, что уже при числе размножений более 25 асимметрия плотности распределения незначительно сказывается на точности выделения полезного сигнала;
- для повышения точности выделения полезного сигнала, при числе размножений менее 25, рекомендуется проводить усреднение среди наиболее вероятных значений (по уровню 0,9 плотности распределения размноженных значений).

Литература

1. Марчук В.И. Тартанов А.А. Повышение точности выделения функции тренда. В кн.: Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах: Материалы 2 Междунар. науч.-практ. конф. г. Новочеркасск, 25 ноября 2001 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ООО НПО «ТЕМП», 2001. – Ч. 3. – 64 с.
2. Марчук В.И. Новый подход к анализу результатов измерений. В кн.: Новые технологии управления движением технических объектов: Материалы 3 Междунар. науч.-технич. конф. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 147 с.

346500, г. Шахты, Ростовской области, ул. Шевченко, 147, ЮРГУЭС, каф. РТ,
т. 2-04-33 (аб 281), e-mail: marchuk@sssu.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Темников А.Н. Метод контроля микропористости	4
Мельник Е.Е. Термоэлектрическое устройство для контроля механической неоднородности твердосплавного инструмента	6
Тупикин Д.А. Термоэлектрический метод контроля усталостных явлений в металлах и сплавах	7
Ткачук Э.И. Диагностика степени литификации глинистых пород	8
Шлыков С.В., Глушенков М.С., Иванов В.В. Параметрические преобразователи с угловой модуляцией выходного сигнала	12
Ногачева Т.И., Углова Н.В. Преобразователь локальных толщин слоев проводящих двухслойных материалов	14
Углова Н.В. Понятие о толщине покрытия с учетом диффузионной зоны	16
Дереча С.В., Плотников Д.А. Пульт оператора для работы с регистраторами срабатываний реле защит и изменения виброскорости	17
Иванов В.В., Шакурский В.К. Генераторный метод преобразования девиации частоты... ..	20
Таранов И.Н., Сорокин Б.В., Печёнкин С.Н. Измерение распределённых параметров электромагнитных устройств	21
Долгих В.В. Логометрический омметр с коррекцией аддитивной погрешности	22
Долгих В.В. Широкодиапазонный преобразователь напряжения в ток	25
Митина В.Ф., Кривченко Ю.Р. Цифровой измеритель времени установления сигнала на выходе следящего преобразователя код-частота	29
Ермаков В.Ф., Джелаухова Г.А. Многомерный статистический анализатор выбросов и провалов нестационарного напряжения	31
Теняков Е.И., Чернявский А.А. Балансная токовая система передачи информации	35
Ермаков В.Ф., Свеколкин Д.А. Определение среднего модуля производной напряжения сети	39
Кужиков С.Л., Чумак Н.Р., Сербиновский Б.Б., Стеблин В.В. Гармонический анализ сигналов в системе непрерывного контроля изоляции трансформаторов тока	41
Ермаков В.Ф., Демур В.В. Статистический анализатор отклонений и колебаний напряжения	43
Таранов И.Н., Печёнкин С.Н., Сорокин Б.В. Определение реакции четырёхполюсника на сигнал сложной формы	47
Ермаков В.Ф., Мурзаков В.А. Статистический анализатор колебаний напряжения	48
Марчук В.И., Саакян Г.Р., Палько В.В. Метод выделения функции полезного сигнала	50
Ермаков В.Ф., Мурзаков В.А. Статистический анализатор амплитуд напряжения	52
Шерстобитов А.И., Марчук В.И. Повышение точности обработки методом «РАЗОЦ»	55

Научное издание

Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики

**Материалы III Международной научно-практической конференции
Часть 2**

Редактор: А.С. Лобова

Компьютерная верстка: М.К. Аверьянова

ИД № 05240, 02.07.2001 г. Подписано в печать 10.10.2002 г.

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Усл.-печ. л. 3,27. Уч.-изд. л. 2,78. Тираж 100 экз. Заказ 47-718.

ООО Научно-производственное объединение «ТЕМП»

346430, г. Новочеркасск, сп. Ермака, 44.

Центр оперативной полиграфии

Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

**ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ
И ДИАГНОСТИКИ**

*Материалы
III Международной научно-практической
конференции*

Часть 3

*20 сентября 2002 года
г. Новочеркасск*

Новочеркасск 2002

УДК 681.518.54
ББК 30.82
Т 33

Организаторы конференции:

Министерство образования РФ;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
В.Н. Чернов (РФ), профессор

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора

Т 33 Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики:
Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск,
20 сент. 2002 г.: В 4 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Ново-
черкасск: ООО НПО «ТЕМП», 2002. – Ч. 3. – 56 с.

ISBN 5-94633-021-7

Материалы конференции вошли в сборник из четырех частей. Третья часть содержит доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и диагностики в медицине и биологии; вопросам метрологического обеспечения измерений, контроля и диагностики; теории, методам и средствам диагностики сложных технических систем; интеллектуальным средствам измерения; методам оценки состояния и перспектив развития предприятий, отраслей, комплексов.

УДК 681.518.54

ISBN 5-94633-021-7

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2002
© Авторы, 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В сентябре 2002 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила III Международная научно-практическая конференция «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Орла, Ульяновска, Иркутска, Челябинска, Мурманской области, Омска, Златоуста, Тольятти, Владимира, Волгодонска, Новочеркасска, Шахт и Каменска.

На конференцию представлено 57 докладов, которые вошли в сборник, состоящий из четырех частей. Каждая часть содержит материалы по нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и контроля параметров магнитных, полупроводниковых и диэлектрических материалов; жидких многофазных сред; ультразвуковым методам и средствам измерений и контроля.

Во вторую часть вошли статьи о теории, методах и средствах измерений и контроля концентраций, химического и структурного состава веществ и материалов; сил, вибрации и геометрических размеров; теории, методах и средствах радиоизмерений; цифровых методах и средствах измерений и обработки измерительной информации.

Третья часть содержит доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и диагностики в медицине и биологии; вопросам метрологического обеспечения измерений, контроля и диагностики; теории, методам и средствам диагностики сложных технических систем; интеллектуальным средствам измерения; методам оценки состояния и перспектив развития предприятий, отраслей, комплексов.

В четвертую часть вошли доклады, освещающие вопросы экономической диагностики производственных и социальных систем.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

НЕЛИНЕЙНАЯ ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ БИОХИМИЧЕСКОГО ГОМЕОСТАЗА

Ю.С. Бут, О.Ю. Бут

Омская государственная медицинская академия, институт ноосферных технологий Российской академии естественных наук (НООТЕХ),
Центр новых технологий (Омск)

Представлена новая технология неинвазивной оценки биохимических показателей гомеостаза по вегетативной реакции организма обследуемого на внешнее телеметрическое дозированное энергоинформационное воздействие на его рецепторные зоны известными физиологическими раздражителями: звук, цвет, магнитное и электромагнитное поле, токовые импульсы. Телеметрическое получение информации от обследуемого биологического объекта происходит за счет работы Био-Управляемых-Телеметрических-Триггерных Анализирующих устройств (БУТ-Т-А). Эти устройства снабжены специальными датчиками, которые являются обычными радиоэлементами, например варикап (полупроводниковый диод с изменяемой емкостью), специально подобранные на стенде с максимальной чувствительностью к биологическому воздействию, имеют НОУ-ХАУ и запатентованы Бутом Ю.С. в государственном Институте промышленной собственности как изобретение (приоритетная справка № 2001.110.690 от 18.04.2001).

Поставленная исследователями цель достигнута применением дистанционной биологической обратной связи, предназначенной для восприятия мозговой деятельности оператора или вегетативной реакции пациента в зависимости от задач исследования, в режиме диалога между информационно-вычислительным комплексом и оператором, особой конфигурации комплекса (периферийных устройств) для преобразования этой информации в последовательность импульсов.

Преобразование сигналов происходит при помощи триггерного датчика, имеющего чувствительный элемент, представленный генератором шума, запитанным от источника стабильного тока минимальной величины (1-5 микроампер), усилителями полезного сигнала, компаратором и устройством гальванической развязки для связи с последовательным портом компьютера, причем триггерный датчик оборудован детекторным каналом, состоящим из логопериодической антенны, имеющей многозаходную спиральную конструкцию, смесителя, выпрямителя, дискриминатора и гетеродина, питающего СВЧ диоды, установленные непосредственно на логопериодической антенне, а сигнал с дискриминатора подается в блок источника стабильного тока, смещая рабочую точку чувствительного элемента.

В качестве ближайшего аналога датчиков БУТ-Т-А принято устройство, использованное авторами в способе информационно-волновой диагностики и терапии (патент RU № 2141785, МПК: А 61 В 5/04, опубл. 27.11.1999).

В известном способе, принятом за прототип, решалась задача повышения эффективности диагностики и лечения за счет получения и *использования информационных сигналов, обнаруженных в органах и*

системах живого организма. Однако в данном способе информационные сигналы, соответствующие сигналам здоровых органов и систем, используются, преимущественно, для модуляции электромагнитных волн, которыми затем осуществляют воздействие на показанные биологически активные точки пациента. Датчики БУТ-Т-А позволили создать устройства для телеметрического получения, обработки и передачи физиологических данных с использованием биологической обратной связи (биоуправления) и триггерного (нелинейного) алгоритма анализа получаемых результатов.

Информационные сигналы, присущие индивидууму и несущие информацию о состоянии его биохимического гомеостаза регистрируют устройствами БУТ-Т-А во время прерываний тока и при определенной частоте прерывания, причем регистрацию информационных сигналов производят сначала при одной полярности магнитного поля, затем повторяют, сменив полярность поля на противоположную, и при этом оцифровывают снятые показатели, осуществляют математическую их обработку и представляют созданные таким образом индивидуальные спектрограммы систем, органов, тканей и тому подобных морфологических структур индивидуума в виде двух графических кривых и виртуальных топографо-анатомических моделей конкретных органов в их физиологических взаимосвязях, в различных проекциях и сечениях, в том числе с тканевым, клеточным и хромосомным маркированием.

При конкретной реализации заявляемого способа, с целью улучшения зрительного восприятия индивидуумом своей индивидуальной спектрограммы, представление ее в виде графических кривых сопровождают представлением объемной компьютерной топографической модели, поверхность вращения которой маркируют условными знаками, отражающими показатели индивидуальной спектрограммы.

Наряду с сопоставлением индивидуальных спектрограмм со спектрограммами заведомо здоровых систем, органов, тканей или других морфологических структур, производят их сопоставление со спектрограммами пораженных морфологических структур, причем построение спектрограмм заведомо здоровых и пораженных структур производят предварительно и аналогично построению индивидуальных спектрограмм, исследуя соответствующие гомогенаты биолокационным методом в импульсном магнитном поле и с прерываниями магнитного поля при определенных частотах модуляции магнитных импульсов.

В своей работе для воздействия на пробы биологических жидкостей (кровь, моча) с различными разведениями изучаемых биохимических показателей (например, сахар крови) или ампульные гомеопатические препараты, нозоды и органопрепараты авторы новой технологии применили магнитное поле противоположной полярности (N и S), а измерения проводили дважды. В качестве излучателя магнитного поля использовали серийный медицинский низкочастотный генератор импульсов «Градиент», разработанный для магнитотерапии, и генератор собственной конструкции (Патент РФ № 2142826).

В результате получали виртуальную модель исследуемого препарата – максимальной, минимальной и нормальной концентрации в виде графика для визуального просмотра и оцифровку его взаимодействия с магнитным полем для математических расчетов. Учитывая общепринятое мнение, что магнитные силовые линии всегда выходят из N индуктора, считали первую кривую (для N индуктора) спектром поглощения, а вторую кривую (для S -индуктора) – спектром излучения тестируемого препарата после проведенного намагничивания, по аналогии с магнито-резонансным спин-спиновым взаимодействием.

Сначала работали только с растворами, измеряя их электропроводность, а затем перешли и на твердые формы, используя биолокационное тестирование (Патент РФ № 2119806). При этом исследуемый препарат помещали в проекции левой височной области специально обученного оператора биолокации перед магнитным индуктором N полярности, а S -индуктор устанавливали с противоположной стороны его головы. Таким образом исследуемые пробы оказывались расположенными вдоль силовых линий создаваемого индукторами магнитного поля. Информация о свойствах вещества вводилась в мозг оператора биолокации и оценивалась им визуально в условных единицах от 0 до 7 ед. в виде соотношения сигнал\шум с помощью логарифмической шкалы по величине угла отклонения Г-образной биолокационной рамки, удерживаемой им в этот момент в правой руке. Оценку проводили при различных частотах прерывания тока в цепи индукторов с последующей сменой полярности.

Устройства БУТ-Т-А имеют следующие рабочие части (рис. 1, 2):

1. Биуправляемый телеметрический сенсор.
2. Метастабильный элемент, постоянно находящийся в неустойчивом состоянии.
3. Триггерный анализатор с нелинейным алгоритмом работы ДА\НЕТ и с визуализацией условных единиц гомотоксикоза от 0 до 7 и промежуточных значений.
4. Программа «ИМАГО-ДТ» с аппаратом математической обработки получаемых данных.
5. Монитор компьютера (устройство визуализации).

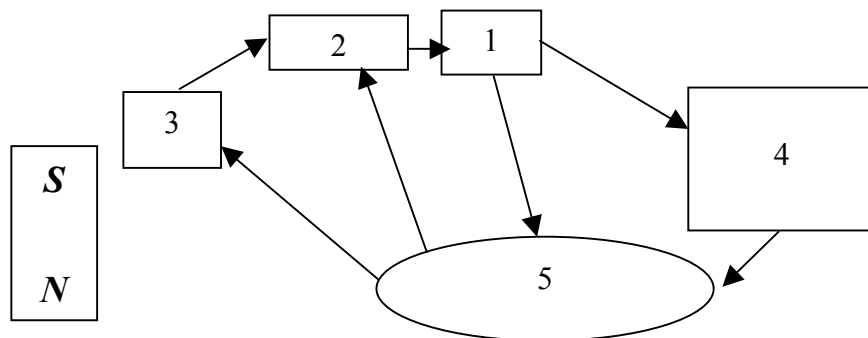


Рис.1. Виртуальный протокол биуправляемого телеметрического подбора чувствительных элементов и устройств

Условные обозначения:

1. Устройство для визуализации эффекта от действия оператора (биообъект)-инициатора на сенсорный датчик. Используется экран монитора персонального компьютера, цифровой или обычный стрелочный индикатор или группа светодиодов и блок преобразования изменений состояния датчика в зрительное восприятие.
2. Исследуемый радиоэлемент.
3. Блок настройки радиоэлемента в режим восприятия биологической информации.
4. Блок формирования биологической обратной связи. Его конфигурация зависит от типа датчика и периферийных устройств, обеспечивающих его чувствительность к действию биообъекта.
5. Сам биообъект сенситив.

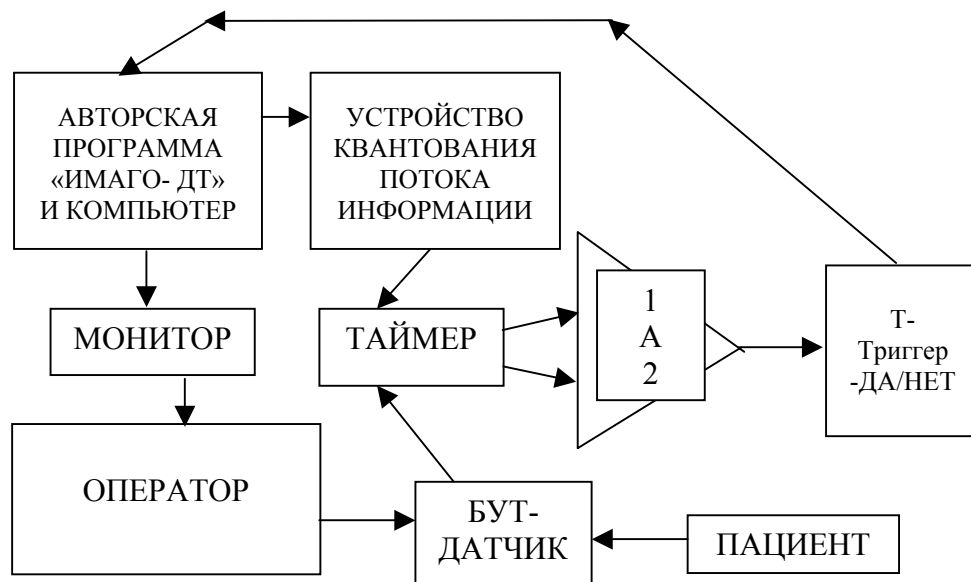


Рис.2. Блок-схема работы триггерного анализирующего устройства (А)

Биологическая обратная связь формировалась за счет электродов, удерживаемых в правой и левой руке сенситива, которые подключали к обычному токовому генератору с индикацией обрыва в цепи (например, бытовой омметр). Звуковая индикация включалась при нормальном прохождении тока в цепи термосопротивления и не прерывалась во время его исходного прогрева и за весь период биовоздействия при комнатной температуре. Тембр звука зависел от величины тока в цепи датчика, что облегчало оператору формирование биологической обратной связи в период обучения.

КООРДИНАТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗОВОЙ СРЕДНЕЙ ПЛОСКОСТИ

Ю.С. Сысоев, И.Н. Филиппова, Н.А. Симакова

Волгодонский институт Южно-Российского государственного
технического университета

Рассмотрен координатный метод анализа геометрических поверхностей в атомном машиностроении.

Одним из наиболее универсальных методов анализа геометрии поверхностей являются координатные методы. Измерив координаты точек реальной поверхности, можно не только проводить ее контроль относительно какой-либо из базовых поверхностей, но и при необходимости (для особо ответственных изделий) дублировать этот контроль, вычисляя отклонения формы реальной поверхности от различных базовых поверхностей (средней, прилегающих, поверхности минимальной зоны) [1], определять размеры и форму изделия, производить базирование заготовок для механической обработки [2]. Особенно широкое распространение получили координатные методы при контроле геометрии поверхностей крупногабаритных корпусных изделий атомного машиностроения. Поэтому и в научной литературе [3], и в нормативных документах [1,4] важное место занимают как методы непосредственных измерений координат точек, так и методы обработки их результатов.

Развитие атомного машиностроения стимулировало разработку координатных методов контроля поверхностей вращения (валов, обечаек, эллиптических днищ и др.). В то же время, несмотря на то, что при решении производственных задач достаточно часто встречается задача контроля плоских поверхностей и этому вопросу посвящен ряд нормативных документов и работ известных метрологов, тем не менее при его решении, на взгляд авторов, недостаточно внимания уделялось координатным методам анализа отклонения от плоскости.

Непосредственное изменение координат точек номинально плоской поверхности может быть произведено либо с помощью координатной измерительной машины, либо на станках, оснащенных индикацией подвижных органов.

Для крупногабаритных корпусных деталей координаты точек могут быть измерены с помощью визирных труб ППС-11 и ППС-12. При этом методы измерения практически не отличаются от методов измерений координат точек цилиндрических поверхностей [5]. Иначе обстоит дело с алгоритмами, определяющими параметры базовых поверхностей и соответствующие отклонения формы реальных поверхностей. В настоящее время с учетом высокой степени компьютеризации предприятий назрела необходимость в разработке простых и эффективных методов и алгоритмов нахождения базовых поверхностей, понятных инженерным работникам и легко программируемых на любом алгоритмическом языке.

В настоящей работе рассматриваются вопросы контроля номинально плоской поверхности и определения отклонений ее формы от базовой средней поверхности, использование которой предусмотрено нормативными документами [1].

В дальнейшем через σ будем обозначать изделие, имеющее номинально плоскую поверхность $\partial\sigma$, метод анализа которой относительно базовой средней поверхности (плоскости) и будет предложен в дальнейшем. Обозначим через M_i ($i=1, 2, \dots, n$) точки реальной поверхности $\partial\sigma$, координаты которых (x_i, y_i, z_i) соответственно были получены в результате измерений (контролируемые точки). Отметим, что точки M_i должны быть равномерно распределены по поверхности $\partial\sigma$ [4].

Известно, что если $Ax + By + Cz + D = 0$ некоторая плоскость, то расстояние r_i от точки $M_i(x_i, y_i, z_i)$ до этой плоскости определяется равенством

$$r_i = \frac{Ax_i + By_i + Cz_i + D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}.$$

В соответствии с определением [1] базовой средней поверхности, найденной по точкам $M_i(x_i, y_i, z_i)$, ее параметры (коэффициенты A_0, B_0, C_0, D_0) будут находиться из следующего уравнения:

$$\sum_{i=1}^n \frac{(A_0 x_i + B_0 y_i + C_0 z_i + D_0)^2}{A_0^2 + B_0^2 + C_0^2} = \min_{A, B, C} \sum_{i=1}^n \frac{(Ax_i + By_i + Cz_i + D)^2}{A^2 + B^2 + C^2} \quad (1)$$

(средняя плоскость $A_0 x + B_0 y + C_0 z + D_0 = 0$ определяется таким образом, чтобы сумма квадратов расстояний от контролируемых точек до этой плоскости была наименьшей).

Таким образом, задача нахождения параметров базовой средней плоскости свелась к задаче минимизации нелинейной функции

$$F(A, B, C, D) = \sum_{i=1}^n \frac{(Ax_i + By_i + Cz_i + D)^2}{A^2 + B^2 + C^2} \quad (2)$$

по переменным A, B, C, D .

Одним из самых простых, но далеко не самых эффективных методов оптимизации, является метод градиентного спуска с дроблением шага [6], суть которого сводится к тому, что, перемещаясь от точки к точке в направлении антиградиента, добиваются монотонного убывания целевой функции на последовательности выбираемых точек дроблением коэффициента, регулирующего шаг перемещений, и приближения выбранных точек к точке оптимума.

И действительно, применение этого метода к решению поставленной задачи приводит и к большим временным затратам при расчетах даже на компьютерах последних модификаций, и к низкой точности в конечных результатах при анализе номинально плоских поверхностей, особенно изделий больших размеров. Это объясняется тем, что целевая функция (2) обладает ярко выраженной "овражной" структурой. Однако некоторая мо-

дификация метода градиентного спуска, фактически не усложняющая алгоритм (алгоритм остается таким же простым и прозрачным), позволяет за достаточно небольшой промежуток времени получить параметры базовой средней окружности с наперед заданной точностью.

Обозначим через $\vec{a}$ вектор, координатами которого являются коэффициенты A, B, C и D , определяющие уравнение плоскости, то есть $\vec{a} = (A, B, C, D)$. Тогда заданный алгоритм, являющийся модификацией обычного метода градиентного спуска с дроблением шага, состоит в следующем:

Выбираем ε , входящую в критерий окончания счета, и произвольное начальное значение $\vec{a}^{(1)}$. Задаем $\alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = 0,2$. Вводим дополнительную переменную f_1 , используемую в пункте 3. Полагаем $f_1=0$.

1. Полагаем $k=1$, $\alpha_k = \alpha_0$ и находим $F(\vec{a}^{(1)})$, $F'(\vec{a}^{(1)}) = \text{grad}F(\vec{a})|_{\vec{a}=\vec{a}^{(1)}}$ и $|F'(\vec{a}^{(1)})|$, если $|F'(\vec{a}^{(1)})| < \varepsilon$ заканчиваем счет.

2. Если $f_1=0$, пересчитываем по формуле (2) все координаты вектора $\vec{a}^{(k+1)}$. Если $f_1=2$, пересчитываем по формуле (2) первые три координаты вектора $\vec{a}^{(k+1)}$, а последнюю координату не изменяем. Если $f_1=1$, пересчитываем по формуле (2) последнюю координату вектора $\vec{a}^{(k+1)}$, а первые три оставляем без изменения.

3. Находим $F(\vec{a}^{(k+1)})$. Если $F(\vec{a}^{(k+1)}) > F(\vec{a}^{(k)})$, то α_k уменьшаем в два раза и возвращаемся в пункт 3 настоящего алгоритма. В противном случае полагаем $k = k + 1$.

4. Находим $F'(\vec{a}^{(k)})$ и $|F'(\vec{a}^{(k)})|$. Если $|F'(\vec{a}^{(k)})| < \varepsilon$, то полагаем $\vec{a}_0 = \frac{\vec{a}^{(k)}}{|\vec{a}^{(k)}|}$, заканчиваем счет. Иначе, если $f_1=2$ полагаем $\alpha_2 = \alpha_k$, $\alpha_k = \alpha_1$, $f_1=0$. Переходим в пункт 3 алгоритма.

Авторы провели расчеты двумя алгоритмами (обычным алгоритмом градиентного спуска с дроблением шага и алгоритмом, предлагаемым авторами) большого количества тестовых примеров, часть результатов которых приведены в таблице.

Таблица

Определение параметров базовой средней плоскости

Вид параметров	Параметры средней базовой плоскости				Время работы алгоритма (сек.)	Погрешность (мм)
	A	B	C	D		
1	2	3	4	5	6	7
Фактические Найденные дроблением шага	0,8165	0,4082	0,4082	-0,8165		
	0,8059	0,3976	0,4387	-0,6801	10335	0,1406

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Предлагаемым методом	0,8148	0,4060	0,4138	-0,7920	3	0,0253
Фактические	0,8165	0,4082	0,4082	0,8165		
Найденные дроб-	0,8165	0,4082	0,4082	1,1492	18000	0,3327
лением шага						
Предлагаемым методом	0,8165	0,4082	0,4082	-0,8165	1	0,0000004
Фактические	0,0100	0,0200	0,9998	0,2000		
Найденные дроб-	0,0100	0,0200	0,9998	0,1989	339	0,0010769
лением шага						
Предлагаемым методом	0,0100	0,0200	0,9998	0,2000	1	0,00000002
Фактические	0,0050	0,0050	1,0000	0,0100		
Найденные дроб-	0,0050	0,0050	1,0000	0,0076	2213	0,00235386
лением шага						
Предлагаемым методом	0,0050	0,0050	1,0000	0,0100	4	0,000000005
Фактические	0,0089	0,8944	0,4472	1,7888		
Найденные дроб-	0,0089	0,8938	0,4472	1,7890	9	0,00065609
лением шага						
Предлагаемым методом	0,0089	0,8944	0,4472	1,7888	9	0,00000271

Сравнение результатов (табл.) говорит о существенно большей эффективности предлагаемого алгоритма и по времени расчетов, и по точности.

Литература

1. ГОСТ 24642-81. Допуски формы и расположение поверхностей. Основные термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 68 с.
2. Сысоев Ю.С., Маневич В.В. Установка крупногабаритных заготовок при их механической обработке // Вестник машиностроения, 1998. – № 6. – С. 14-19.
3. Леонов В.В. Анализ методов измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхностей. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 248 с.
4. РТМ2 Н20-15-85. Методика измерения отклонений от плоскостности деталей на координатных измерительных машинах и приборах, оснащенных вычислительной техникой. – М.: ВНИИТЭМР, 1986. – 17 с.
5. Сысоев Ю.С., Магдеев В.Ш. Методика измерений отклонений от цилиндричности крупногабаритных деталей // Измерительная техника, 1990. – № 11. – С. 27-29.
6. Плис А.И., Сливина Н.А. Лабораторный практикум по высшей математике. – М: Высш.шк., 1994. – 416 с.

347370, г. Волгодонск, ул. 30 лет Победы, 5, 59, Сысоеву Ю.С., т. 5-02-98, 2-36-94.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР В ПЕЧАХ И ТЕРМОКАМЕРАХ

Н.Н. Маркова

Орловский государственный технический университет

Описаны методы уменьшения погрешности измерения разности температур с целью повышения точности контроля неравномерности температурного поля в печах и термокамерах.

Термопары, в основе действия которых лежит термоэлектрический эффект, получили широкое распространение в измерительной технике, а также в системах автоматического регулирования и управления тепловыми процессами. Однако в промышленности градуировка каждой термопары практически невозможна, и поэтому в стандартах и справочниках приводятся данные градуировки термопар, изготовленных из проводов определенных металлов и сплавов. В действительности свойства проводов термопар, изготовленных из одного и того же металла или сплава, могут несколько различаться как за счет некоторого колебания химического состава сплава, так и за счет различий в строении материалов, из которых они изготовлены. Именно этим объясняются относительно большие погрешности измерения температур, оговоренные в ГОСТах. Если эти погрешности в ряде случаев допустимы при контроле температуры в печах и термокамерах, то они совершенно не допустимы при контроле неравномерности теплового поля в камерах, где требуется высокая равномерность или строго заданный градиент температурного поля, как, например, термокамеры, в которых производится выращивание кристаллов полупроводниковых материалов.

Существенно повысить точность измерения разности температур (контроля неравномерности теплового поля) позволяет метод, реализация которого представлена на рис. 1. В рабочем объеме термокамеры или печи 3 размещается протяженный термоэлектрод 1, являющийся одновременно электродом термопары, измеряющей температуру в одной из точек (базовой) термокамеры, и шиной, проходящей через те точки термокамеры или печи, в которых измеряется разность температур. К шине в точках измерения температуры и разности температур присоединяются проволоки 2 из одного и того же материала, которые служат вторыми электродами термопар. Прибор 4, подключенный к разноименным электродам термопар, позволяет определить температуру в точке *b* рабочего пространства термокамеры или печи. Прибор 6, подключенный к любым двум одноименным электродам 2 термопар, по-

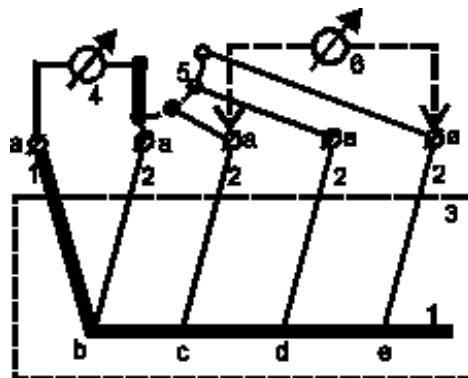


Рис.1. Схема реализации метода измерения

звolyет определить разность температур между точками присоединения этих электродов к шине.

В этом случае погрешность измерения разности температур резко уменьшается, так как один провод у всех термопар общий и погрешности могут быть обусловлены только влиянием термоэлектрических свойств других проводов. Кроме того, подключение измерительных приборов к различным отрезкам вторых электродов термопар позволяет сразу измерять разность температур в тех точках, где они приварены к общему проводу (шине). Простейшие вычисления показывают, что такой способ позволит уменьшить погрешность измерения разности температур по сравнению с методом двух термопар в $\sqrt{2} t/\Delta t$ раз, где t – температура в измеряемой точке термокамеры, Δt – измеряемая разность температур.

Исследования, проведенные во ВНИИМ им. Менделеева, показали, что изменения термоэлектрической чувствительности вдоль провода имеют две составляющих, одна из которых связана с изменением микроструктуры провода и поэтому вызывает изменение микрочувствительности на участках, расположенных относительно близко друг к другу, так называемая локальная неоднородность, и вторую составляющую, обусловленную медленным по протяженности провода изменением его структуры, например, за счет изменения химсостава (протяженная неоднородность). Как составляющие одного вида, так и другого приводят к погрешности при измерении неравномерности теплового поля. Для уменьшения влияния обеих составляющих следует заменять провод скрутками из нескольких проводов. В этом случае термоэлектрические свойства электродов термопар и шины усредняются, что вызывает резкое уменьшение колебаний их термоэлектрических свойств от тех значений, которые в среднем соответствуют материалам проводов электродов термопар.

Анализируя схему метода, представленную на рис. 1, можно показать, что влияние неравномерности общего провода 1 и проводов 2 комбинированной термопары на погрешность измерения разности температур пропорционально разностям температур соответственно в точках b и c и точках a и b . При этом, если разность температур в точках b и c составляет единицы градусов, то разность температур в точках a и b может достигать нескольких сотен градусов, соответственно и влияние проводов 1 и 2 на результат измерения разности температур различается в десятки и даже сотни раз. Таким образом, с целью конструктивных и технологических упрощений, целесообразно общий термоэлектрод 1 изготавливать из обычной проволоки, а термоэлектроды 2 изготавливать из скруток проводов меньшего диаметра.

Описанный метод и конструктивные особенности термодифференциальных термопар, а также некоторые другие конструктивные особенности таких термопар позволяют существенно уменьшить погрешность измерения разности температур.

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ

О.И. Баглейбтер

Иркутский государственный технический университет

Рассмотрена одна из наиболее актуальных проблем теории измерений в современной электротехнике – проблема мощностей в несинусоидальных режимах. Рассмотрены недостатки существующих теорий, проанализирована физика процесса передачи энергии от источника к потребителю как в синусоидальных режимах, так и в несинусоидальных. На основе проведенного анализа предложена альтернативная теория измерений мощностей, которая включает в себя классическую теорию как частный случай и дает четкое представление о физической сущности энергетических процессов.

Для начала рассмотрим мощности в синусоидальном режиме. Пусть имеются синусоидальные ток и напряжение:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_m \cos(\omega t + \varphi_u), \\ i(t) &= I_m \cos(\omega t + \varphi_i). \end{aligned}$$

Воспользовавшись формулой Эйлера, можно получить:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_m \frac{e^{-j(\omega t + \varphi_u)}}{2} + U_m \frac{e^{j(\omega t + \varphi_u)}}{2}, \\ i(t) &= I_m \frac{e^{-j(\omega t + \varphi_i)}}{2} + I_m \frac{e^{j(\omega t + \varphi_i)}}{2}. \end{aligned} \tag{1}$$

Будем считать цепь последовательной и разложим $u(t)$ на активную и реактивную составляющие (если считать цепь параллельной, то необходимо ток раскладывать на две составляющие – все рассуждения аналогичны). Напряжение на активном сопротивлении колеблется синфазно с током, на реактивном – отстает (или опережает) ток на $\frac{\pi}{2}$. Можно легко показать, что

$$\begin{aligned} U_m \cos(\omega t + \varphi_u) &= U_m \cos(\varphi_u - \varphi_i) \cos(\omega t + \varphi_i) - \\ &- U_m \sin(\varphi_u - \varphi_i) \sin(\omega t + \varphi_i). \end{aligned}$$

Первое слагаемое есть падение напряжения на активном сопротивлении, второе – на реактивном.

Произведем следующую замену:

$$\begin{aligned} U_{m\,a} &= U_m \cos(\varphi_u - \varphi_i); \\ U_{m\,r} &= U_m \sin(\varphi_u - \varphi_i). \end{aligned}$$

С учетом этого можно записать

$$\begin{aligned}
 u(t) &= U_{ma} \frac{e^{-j(\omega t + \varphi_i)}}{2} + U_{ma} \frac{e^{j(\omega t + \varphi_i)}}{2} - \\
 &\quad - \left(-U_{mr} \frac{e^{-j(\omega t + \varphi_i)}}{2j} + U_{mr} \frac{e^{j(\omega t + \varphi_i)}}{2j} \right) = \\
 &= (U_{ma} - jU_{mr}) \frac{e^{-j(\omega t + \varphi_i)}}{2} + (U_{ma} + jU_{mr}) \frac{e^{j(\omega t + \varphi_i)}}{2}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 u_a(t) &= U_{ma} \cos(\omega t + \varphi_i), \\
 u_r(t) &= -U_{mr} \sin(\omega t + \varphi_i), \\
 u(t) &= u_a(t) + u_r(t)
 \end{aligned} \tag{3}$$

Теперь наглядно рассмотрим энергетические процессы, происходящие в синусоидальной цепи.

На рис. 1 изображены синусоидальные ток и напряжение. Напряжение сдвинуто относительно тока на угол φ .

$$\begin{aligned}
 i(t) &= I_m \cos(\omega t), \\
 u(t) &= U_m \cos(\omega t + \varphi).
 \end{aligned}$$

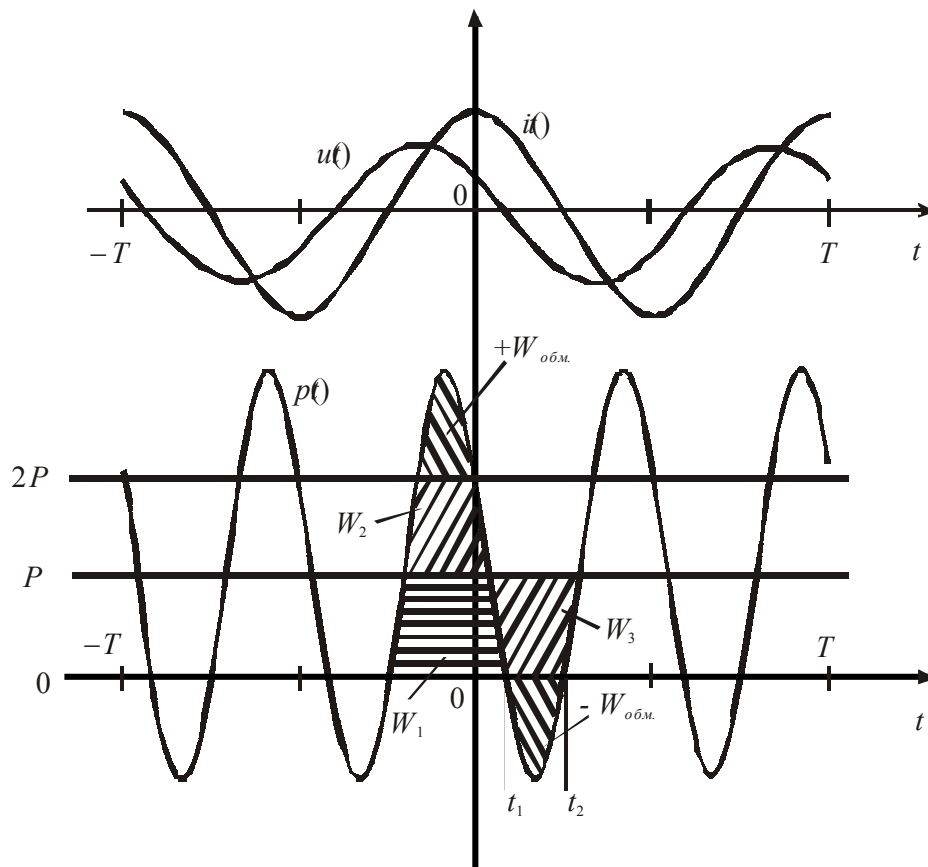


Рис.1. Мощность в синусоидальной цепи

В нижней части рис. 1 изображена мгновенная мощность, равная произведению тока на напряжение. Кроме того, проведены две прямые:

$$P = UI \cos \varphi = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi \text{ и } 2P.$$

Можно видеть, что передача энергии осуществляется в двух направлениях: в прямом (+ $W_{обм.}$), W_1 , W_2 и в обратном (- $W_{обм.}$). Активная мощность рассчитывается усреднением мгновенной мощности за период, при этом (+ $W_{обм.}$) и (- $W_{обм.}$) взаимно компенсируются, энергия W_2 компенсирует энергетический провал W_3 . Весь процесс можно представить как передачу постоянной активной мощности P от источника к потребителю. Однако при этом из рассмотрения полностью выпадает энергия обменных процессов $\pm W_{обм.}$. Сами обменные процессы заключаются в перетоках энергии между реактивным сопротивлением источника (как правило, индуктивностью) и реактивным сопротивлением потребителя. Половину периода мгновенной мощности (для тока и напряжения это будет четверть периода) обменная энергия идет в одну сторону, другую половину – в обратную. Не учитывать эту энергию нельзя хотя бы по той причине, что между источником и потребителем всегда находится линия передачи и протекание по ней казалось бы безвредной обменной энергии всегда вызывает активные потери.

Именно для учета обменных процессов и было введено понятие реактивной мощности.

Наиболее простым и интуитивно логичным решением является нахождение реактивной мощности делением обменной энергии на половину периода мгновенной мощности (четверть основного периода). Именно это решение предлагается во множестве работ, причем чаще всего встречается вариант с использованием модуля:

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T |p(t)| dt - \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T |p(t)| dt - P.$$

Очевидно, что результат равен $\frac{4 W_{обм.}}{T}$.

Из графика (см. рис. 1) $W_{обм.} = \int_{t_2}^{t_1} p(t) dt$. Моменты времени t_1 и t_2 на-

ходятся приравниванием к нулю выражения $p(t)$.

В результате получим следующую величину:

$$W_{обм.} = \frac{1}{2\omega} U_m I_m (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi)$$

Тогда $Q = \frac{1}{\pi} U_m I_m (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi)$.

Недостатки описанного метода следующие:

1. В общем случае для несинусоидальных цепей (см. ниже) с гармониками свыше четвертой не существует аналитического решения уравнения $p(t) = 0$ и, следовательно, не существует аналитических выражений для $W_{обм.}$ Это связано с тем, что тригонометрическое уравнение приводится

к алгебраическому того же порядка, что и наибольший номер гармоники, а алгебраические уравнения пятого и выше порядка в общем случае аналитического решения не имеют.

2. Реактивная мощность, найденная по этому методу, не является аддитивной.

Теперь дадим следующие определения:

1. Интегральная мощность P – усредненная за период полная мгновенная мощность, известная в классической электротехнике как активная.

2. Активная мощность P_a – амплитуда активной составляющей мгновенной мощности, численно равна интегральной мощности P .

3. Реактивная мощность P_r – амплитуда реактивной составляющей мгновенной мощности, численно равна классической реактивной мощности Q .

Таким образом, для синусоидальных величин мы оставили классическую теорию практически без изменений, лишь объяснили физический смысл всех мощностей. Тем не менее это позволяет нам выстроить теорию мощностей для несинусоидальных величин.

Как известно, несинусоидальные режимы могут возникать в двух случаях:

1. В линейных цепях при несинусоидальных задающих величинах.
2. В нелинейных цепях при любых задающих величинах.

Будем рассматривать только первый случай.

Пусть имеются несинусоидальные ток и напряжение, представленные вещественными рядами Фурье:

$$u(t) = \sum_{k=0}^{\infty} U_m(k) \cos(k\omega t + \varphi_u(k)),$$

$$i(t) = \sum_{k=0}^{\infty} I_m(k) \cos(k\omega t + \varphi_i(k)).$$

Представим их в комплексном виде как в более удобном для математической обработки:

$$u(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} U_m(k) e^{j\varphi_u(k)} e^{jk\omega t} = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{U}(k) e^{jk\omega t},$$

$$i(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} I_m(k) e^{j\varphi_i(k)} e^{jk\omega t} = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{I}(k) e^{jk\omega t},$$

где $U_m(k) = U_m(-k)$,

$$I_m(k) = I_m(-k),$$

$$\varphi_u(k) = -\varphi_u(-k),$$

$$\varphi_i(k) = -\varphi_i(-k),$$

$$\dot{U}(k) = U_m(k) e^{j\varphi_u(k)},$$

$$\dot{I}(k) = I_m(k) e^{j\varphi_i(k)},$$

$$\begin{aligned}\dot{U}(k) &= \dot{U}^*(-k), \\ \dot{I}(k) &= \dot{I}^*(-k).\end{aligned}$$

Мгновенная мощность равна произведению напряжения на ток, следовательно, спектральный состав мгновенной мощности можно найти с помощью теоремы свертки:

$$\begin{aligned}p(t) &= \frac{1}{4} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{P}(k) e^{jk\omega t}, \\ p(t) &= u(t)i(t), \\ \dot{P}(k) &= \dot{U}(k) * \dot{I}(k), \\ \dot{P}(k) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dot{U}(m) \dot{I}(k-m).\end{aligned}$$

Иначе, различные частоты мощности образуются интерференцией частот напряжения и тока.

Аналогично синусоидальным цепям разложим напряжение на две составляющие – активную и реактивную:

$$\begin{aligned}u(t) &= \sum_{k=0}^{\infty} U_m(k) \cos(k\omega t + \varphi_u(k)) = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} (U_m(k) \cos(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) \cos(\omega t + \varphi_i(k)) - U_m(k) \sin(\varphi_u(k) - \\ &- \varphi_i(k)) \sin(\omega t + \varphi_i(k))) = \sum_{k=0}^{\infty} U_m(k) \cos(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) \cos(\omega t + \varphi_i(k)) + \\ &+ \sum_{k=0}^{\infty} -U_m(k) \sin(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) \sin(\omega t + \varphi_i(k)).\end{aligned}$$

Ряд полного напряжения мы представили суммой двух рядов: первый является разложением падения напряжения на активном сопротивлении, второй – на реактивном. Отметим, что это не какие-то гипотетические составляющие, это именно те напряжения, которые мы увидим на осциллографе, если подключим его к резистору и, например, к конденсатору.

Переведем полученные выражения в комплексный вид:

$$\begin{aligned}u_a(t) &= \sum_{k=0}^{\infty} U_m(k) \cos(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) \cos(\omega t + \varphi_i(k)) = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} U_m(k) \cos(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) \left(\frac{e^{j(\omega t + \varphi_i(k))}}{2} + \frac{e^{-j(\omega t + \varphi_i(k))}}{2} \right).\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u_r(t) &= \sum_{k=0}^{\infty} -U_m(k) \sin(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) \sin(\omega t + \varphi_i(k)) = \\
&= \sum_{k=0}^{\infty} -U_m(k) \sin(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) \left(\frac{e^{j(\omega t + \varphi_i(k))}}{2j} - \frac{e^{-j(\omega t + \varphi_i(k))}}{2j} \right) = \\
&= \frac{j}{2} \sum_{k=0}^{\infty} U_m(k) \sin(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) (e^{j(\omega t + \varphi_i(k))} - e^{-j(\omega t + \varphi_i(k))}).
\end{aligned}$$

При $U_m(k) = U_m(-k)$, $\varphi_u(k) = -\varphi_u(-k)$, $\varphi_i(k) = -\varphi_i(-k)$ можно записать:

$$\begin{aligned}
u_a(t) &= \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} U_m(k) \cos(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) e^{j\varphi_i(k)} e^{jk\omega t} = \\
&= \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{U}_a(k) e^{jk\omega t},
\end{aligned}$$

где $\dot{U}_a(k) = U_m(k) \cos(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) e^{j\varphi_i(k)}$,

$$\dot{U}_a(k) = \dot{U}_a^*(-k).$$

$$\begin{aligned}
u_r(t) &= \frac{j}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} U_m(k) \sin(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) e^{j\varphi_i(k)} e^{jk\omega t} = \\
&= \frac{j}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{U}_r(k) e^{jk\omega t},
\end{aligned}$$

где $\dot{U}_r(k) = U_m(k) \sin(\varphi_u(k) - \varphi_i(k)) e^{j\varphi_i(k)}$,

$$\dot{U}_r(k) = -\dot{U}_r^*(-k).$$

Следовательно,

$$u(t) = u_a(t) + u_r(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{U}_a(k) e^{jk\omega t} + \frac{j}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{U}_r(k) e^{jk\omega t}.$$

Теперь найдем активную и реактивную составляющие мгновенной мощности:

$$\begin{aligned}
p(t) &= u(t)i(t) = (u_a(t) + u_r(t))i(t) = \\
&= u_a(t)i(t) + u_r(t)i(t) = p_a(t) + p_r(t),
\end{aligned}$$

$$p_a(t) = u_a(t)i(t) = \frac{1}{4} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{P}_a(k) e^{jk\omega t},$$

(4)

$$\dot{P}_a(k) = \dot{U}_a(k) * \dot{I}(k) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dot{U}_a(m) \dot{I}(k-m),$$

$$p_r(t) = u_r(t)i(t) = \frac{j}{4} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{P}_r(k) e^{jk\omega t},$$

(5)

$$\dot{P}_r(k) = \dot{U}_r(k) * \dot{I}(k) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dot{U}_r(m) \dot{I}(k-m).$$

Причем $\dot{P}_a(k) = \dot{P}_a^*(-k)$, $\dot{P}_r(k) = -\dot{P}_r^*(-k)$.

Найдем постоянную составляющую в активной мощности:

$$\begin{aligned}\dot{P}_a(0) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dot{U}_a(m) \dot{I}(-m) = \sum_{m=0}^{\infty} (\dot{U}_a(m) \dot{I}^*(m) + \dot{U}_a^*(m) \dot{I}(m)) = \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} (U_m(m) \cos(\varphi_u(m) - \varphi_i(m)) e^{j\varphi_i(m)} I_m(m) e^{-j\varphi_i(m)} + \\ &\quad + U_m^*(m) \cos(\varphi_u(m) - \varphi_i(m)) e^{-j\varphi_i(m)} I_m^*(m) e^{j\varphi_i(m)}) = \\ &= 2 \sum_{m=0}^{\infty} U_m(m) I_m(m) \cos(\varphi_u(m) - \varphi_i(m)).\end{aligned}$$

Учитывая множитель $\frac{1}{4}$ из выражения (4), получаем окончательно постоянную составляющую в активной мощности

$$P_a(0) = \frac{1}{2} \sum_{m=0}^{\infty} U_m(m) I_m(m) \cos(\varphi_u(m) - \varphi_i(m)).$$

Перед нами классическое выражение интегральной мощности, и это понятно – при усреднении за период все периодические составляющие дают ноль, остается только постоянная.

Найдем постоянную составляющую в реактивной мощности:

$$\begin{aligned}\dot{P}_r(0) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dot{U}_r(m) \dot{I}(-m) = \sum_{m=0}^{\infty} (\dot{U}_r(m) \dot{I}^*(m) - \dot{U}_r^*(m) \dot{I}(m)) = \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} (U_m(m) \sin(\varphi_u(m) - \varphi_i(m)) e^{j\varphi_i(m)} I_m(m) e^{-j\varphi_i(m)} - \\ &\quad - U_m^*(m) \sin(\varphi_u(m) - \varphi_i(m)) e^{-j\varphi_i(m)} I_m^*(m) e^{j\varphi_i(m)}) = 0.\end{aligned}$$

Реактивная мгновенная мощность является мощностью обменных процессов, поэтому в ней нет постоянной составляющей, которая означает необратимую передачу энергии от источника к потребителю.

Расширим данные в предыдущем разделе определения активной и реактивной мощности.

Активная мощность – это вектор коэффициентов разложения в ряд Фурье активной составляющей мгновенной мощности.

Реактивная мощность – это вектор коэффициентов разложения в ряд Фурье реактивной составляющей мгновенной мощности.

Информация, хранящаяся в этих векторах избыточна, так как известны соотношения $\dot{P}_a(k) = \dot{P}_a^*(-k)$, $\dot{P}_r(k) = -\dot{P}_r^*(-k)$. Поэтому можно отсечь область от $-\infty$ до 0. Кроме того учтем, что на практике имеют дело с конечным рядом Фурье, $\dot{P}_a(0) = P$ (интегральная мощность), $\dot{P}_r(0) = 0$.

$$P_a = \begin{vmatrix} \dot{P}_a(-\infty) \\ \vdots \\ \dot{P}_a(-2) \\ \dot{P}_a(-1) \\ \dot{P}_a(0) \\ \dot{P}_a(1) \\ \dot{P}_a(2) \\ \vdots \\ \dot{P}_a(\infty) \end{vmatrix}, \quad P_r = \begin{vmatrix} \dot{P}_r(-\infty) \\ \vdots \\ \dot{P}_r(-2) \\ \dot{P}_r(-1) \\ \dot{P}_r(0) \\ \dot{P}_r(1) \\ \dot{P}_r(2) \\ \vdots \\ \dot{P}_r(\infty) \end{vmatrix}.$$

Окончательно получим:

$$P_a = \begin{vmatrix} P \\ \dot{P}_a(1) \\ \dot{P}_a(2) \\ \dot{P}_a(3) \\ \vdots \\ \dot{P}_a(N) \end{vmatrix}, \quad P_r = \begin{vmatrix} 0 \\ \dot{P}_r(1) \\ \dot{P}_r(2) \\ \dot{P}_r(3) \\ \vdots \\ \dot{P}_r(N) \end{vmatrix}.$$

Активная и реактивная мощности исчерпывающе описывают энергетические процессы в цепи, они аддитивны и являются независимыми (ортогональными) функциями. Две эти величины несут в себе полную информацию о мгновенной мощности, график последней всегда может быть по ним восстановлен. Активная мощность описывает процессы необратимой передачи энергии от источников к потребителям, реактивная мощность описывает обменные энергетические процессы между реактивными сопротивлениями цепи.

Мощность в синусоидальной цепи будет описана следующими векторами:

$$P_a = \begin{vmatrix} P \\ \dot{P}_a(2) \end{vmatrix}, \quad P_r = \begin{vmatrix} 0 \\ \dot{P}_r(2) \end{vmatrix}.$$

Измеренные в соответствии с данными определениями активная и реактивная мощности в несинусоидальной цепи являются достоверными и уникальными характеристиками энергетического процесса.

Если мы попытаемся, как во всех существующих теориях, обойтись двумя или тремя мощностями (например, активная, реактивная и мощность искажения – по Будоню, причем мощности являются скалярами), то уникальность этих характеристик сразу оказывается под вопросом. Причина в том, что если уменьшить хотя бы на единицу число компонентов вектора P_r , то он будет одновременно описывать бесконечное множество кривых $p_r(t)$, и тем более бесконечное множество кривых описывают всего две или три мощности.

Литература

1. Ферреро А. Измерения при несинусоидальных сигналах: новые подходы к старой проблеме науки и техники измерений // Приборы и системы управления. – 1999. – № 10.
2. Pretorius J-H.C., Van Wyk J.D., Swart P.H. An evaluation of some alternative methods of power resolution in a large industrial plant. // 0-7803-5105-3/98 1998 IEEE.
3. Зигмунт Кусмерек. Влияние асимметрии трехфазной системы и высших гармонических на точность измерения реактивной мощности // Торгово-промышленная палата СССР. Иркутское отделение. Бюро переводов, перевод №286-82/1.
4. Хольцманн Ф. Мощности и коэффициент мощности в однофазной сети при синусоидальном напряжении // Торгово-промышленная палата СССР. Иркутское отделение. Бюро переводов, перевод №286-82/2, исх. Elektrische Energie-Technik. – 1980. – № 3.
5. Harms Gerd Blindleistung im Energieeinsatz // Elektrotechnik. – 1979. – № 23.
6. Мушик Э., Лонг Т., Дибельс В.-Д. К вопросу о компенсации реактивной мощности в местных сетях при нормированном качестве напряжения // Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации, перевод № E-01408, исх. Elektrische 7/81.
7. Крогерис А.Ф., Рашевец К.К., Трейманис Э.П., Шинка Я.К. Оценка энергетических процессов по мгновенной мощности // Материалы I Всесоюз. конф. по теоретической электротехнике (Ташкент, сент. 1987 г.).
8. Кенс Ю.А., Жураховский А.В. Реактивная мощность в линейных электрических цепях при периодических синусоидальных режимах. – М.: Электричество, 1998. – № 7.
9. Крайчик Ю.С. Связь между реактивной мощностью вентильного преобразователя и искажением напряжения на его вводах. – М.: Электричество, 1998. – № 5.
10. Фишер Г.Д. Компенсация реактивной мощности при непериодических токах и напряжениях // Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации, перевод № Д-37495.
11. Кадомский Д.Е. О реактивной мощности вентильных преобразователей // Исследования и разработки мощных электропередач постоянного тока, 1983.
12. Солодухо Я.Ю. Тенденции компенсации реактивной мощности. – Ч. 1. Реактивная мощность при несинусоидальных режимах работы // Электротехническая пром-сть. Сер. 05. Полупроводниковые силовые приборы и преобразователи на их основе: Обзор. информ., 1987. – Вып. 2 (12).

664056, г. Иркутск, ул. Безбокова, 3, 71 т. 422-251, e-mail: oleg_bagley@mail.ru.

УДК 621.452.3

ОБНАРУЖЕНИЕ ОСОБЫХ НЕРАСЧЕТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТУРБОМАШИН

А.Н. Тырсин

Уральский социально-экономический институт, г. Челябинск

Предложены диагностические признаки, позволяющие достоверно и оперативно обнаруживать ряд особых нерасчетных режимов работы сложных технических систем циклического принципа работы, таких как турбомашины и двигатели внутреннего сгорания.

При доводке и эксплуатации турбомашин и двигателей внутреннего сгорания актуальными задачами являются обеспечение требуемого запаса

устойчивости к особым нерасчетным режимам работы, а также достоверное и своевременное обнаружение этих режимов [1,2]. Примерами таких режимов работы являются автоколебания, вращающийся срыв, помпаж, резонансные колебания, виброгорение в авиационных двигателях, детонация в двигателях внутреннего сгорания и т.д. Указанные динамические состояния сопровождаются изменением структуры сигнала и повышенными уровнями напряжений и вибраций, которые при отсутствии средств для их своевременного обнаружения и контроля могут быть причиной возникновения поломок и дефектов.

Анализ данных явлений показал, что в качестве диагностических признаков наиболее эффективны безразмерные статистические показатели формы закона распределения, которые являются инвариантными к внешним условиям и режиму работы турбомашин [3]. Одним из таких диагностических признаков служит коэффициент эксцесса E , равный

$$E = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3,$$

где μ_k – центральный момент k -го порядка анализируемого сигнала.

В качестве примера рассмотрим способ обнаружения автоколебаний рабочих лопаток осевой турбомшины в потоке. Способ заключается в следующем:

- измеряют колебания рабочего колеса турбомшины во всем частотном диапазоне или в районе собственной частоты, на которой наиболее вероятно возникновение автоколебаний;
- в измеренном сигнале исключают дискретные составляющие, кратные частоте вращения ротора;
- в качестве диагностического признака используют коэффициент эксцесса сигнала после фильтрации в нем детерминированных дискретных составляющих;
- фиксируют возникновение автоколебаний в момент превышения диагностическим признаком порогового уровня, задаваемого исходя из допустимого запаса по автоколебаниям рабочего колеса.

В основе способа лежит то обстоятельство, что при нормальном функционировании турбомшины после исключения из вибросигнала дискретных составляющих он будет близок к гауссовскому шуму, для которого $E = 0$. При возникновении автоколебаний в сигнале на фоне шума появится некротная частоте вращения ротора периодическая составляющая значительной амплитуды, в результате чего плотность распределения вероятностей станет двумодальной, а коэффициент эксцесса стремится к значению $E = -1,5$. В качестве иллюстрации приведены характерные реализации тензосигнала рабочей лопатки компрессора газотурбинного двигателя (ГТД) по 256 отсчетов каждая при нормальных условиях работы (рис. 1а) и при возникновении автоколебаний (рис. 1б).

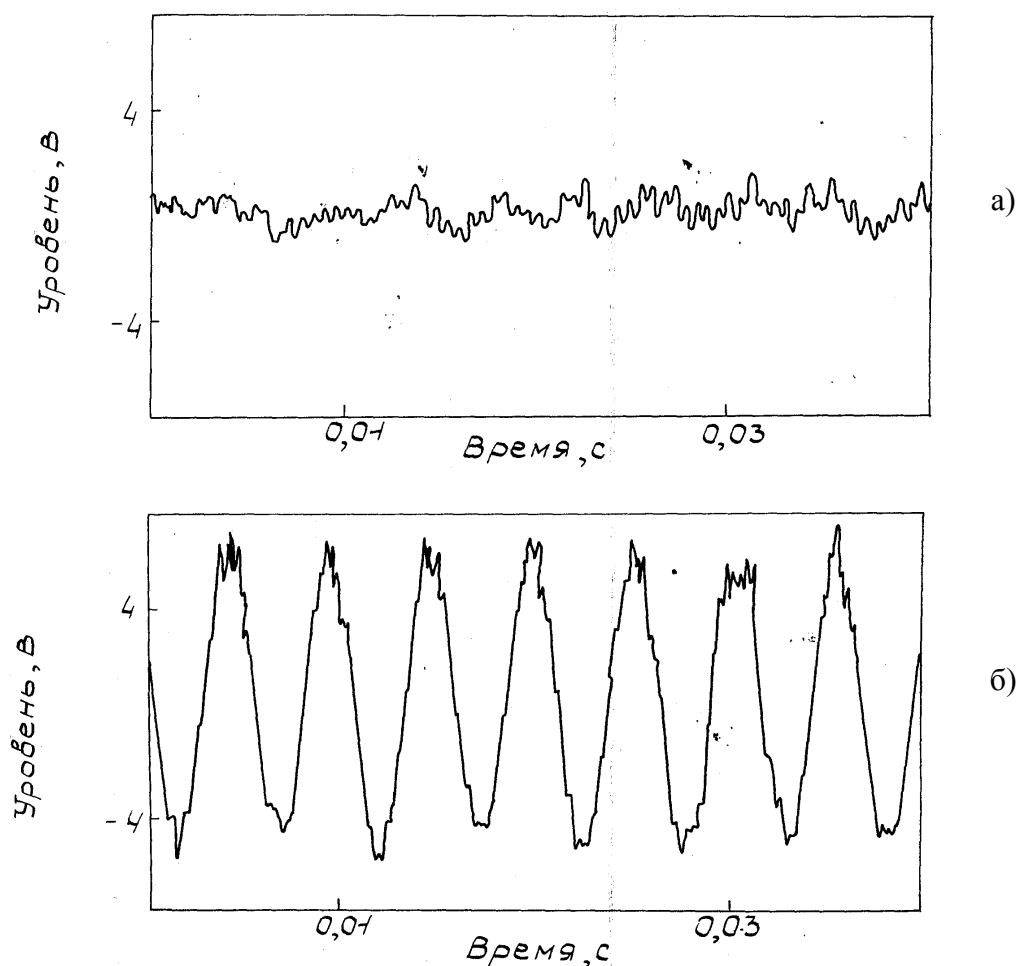


Рис.1. Тензосигнал рабочей лопатки компрессора газотурбинного двигателя:
а) при нормальных условиях работы; б) при возникновении автоколебаний

Рассчитанные значения коэффициента эксцесса для этих выборочных реализаций оказались равными соответственно $-0,11$ и $-1,29$.

Данный признак также оказался весьма эффективным при диагностировании резонансных колебаний в турбомашинах и детонации в автомобильном двигателе. Эти явления характеризуются появлением в сигнале узкополосных собственных колебаний, дисперсия которых значительно превосходит дисперсию сигнала до появления данных режимов работы. Фактически здесь имеем:

- изменение закона распределения сигнала от близкого к нормальному к двумодальному, близкому к синусоидальному;
- резкое увеличение дисперсии сигнала.

В качестве диагностических признаков в этих случаях для большей достоверности необходимо использовать одновременно два признака – коэффициент эксцесса и дисперсию сигнала. При обнаружении детонации следует также учитывать, что она возникает в определенные диапазоны каждого такта двигателя, что определяется по углу поворота коленвала.

Еще одним диагностическим признаком является отношение центрального момента шестого порядка μ_6 сигнала к кубу его дисперсии μ_6^3 .

Для нормального закона распределения оно равно 15, поэтому целесообразно диагностический признак вычислять по формуле:

$$B = \frac{\mu_6}{\mu_2^3} - 15.$$

Достоинством коэффициента B по сравнению с коэффициентом эксцесса является значительно больший диагностический диапазон, т.к. при изменении процесса от гауссовского до гармонического его значение меняется от 0 до $-12,5$.

Данные диагностические признаки имеют вполне определенный физический смысл. Нетрудно показать, что они выражаются через отношение дисперсий периодической составляющей σ_z^2 и шума $\sigma_{ш}^2$:

$$E = -\frac{3}{2} \left(\frac{\alpha}{\alpha+1} \right)^2, \quad B = 10 \left(\frac{\alpha}{\alpha+1} \right)^3 - \frac{45}{2} \left(\frac{\alpha}{\alpha+1} \right)^2, \quad (1)$$

где $\alpha = \frac{\sigma_z^2}{\sigma_{ш}^2}$.

Коэффициент B был использован в качестве диагностического признака при обнаружении режима виброгорения в системе топливопитания ГТД. При возникновении виброгорения появляются собственные колебания с кратными частотами, определяемыми путем расчета или экспериментально [4]. В результате происходит резкое уменьшение значений коэффициента B . В частности, в условиях стендовых испытаний для характерных выборочных реализаций вибраций корпуса системы топливопитания было получено, что коэффициент B в нормальных условиях работы был равен $-1,49$, а на режиме виброгорения изменился до $-11,16$.

При обнаружении ряда неисправностей, например, предсрывных режимов работы вентиляторов и компрессоров ГТД, непосредственно предшествующих возникновению вращающегося срыва и помпажа, в качестве диагностического признака используют отношение квадратов амплитуд первой и второй кратных лопаточных гармоник данного рабочего колеса. Этот выбор обусловлен тем, что при подходе к границе газодинамической устойчивости полезный импульсный сигнал за рабочим колесом изменяет определенным образом свою форму. Однако одновременно точно и оперативно определить амплитуды гармоник затруднительно. Значительно эффективнее воспользоваться связью коэффициента эксцесса E от соотношения «сигнал/шум» α (1). Указанный диагностический признак при этом определяется по формуле:

$$W = \frac{A_1^2}{A_2^2} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \sqrt{\frac{E_1}{E_2}},$$

где A_i – амплитуда i -й лопаточной гармоники; σ_i^2 , E_i – дисперсия и коэффициент эксцесса узкополосного вибросигнала в районе i -й лопаточной гармоники.

Рассмотренные признаки были успешно использованы для диагностики таких нерасчетных режимов работы, как автоколебания, вращающийся срыв, помпаж, резонансные колебания, виброгорение в авиационных двигателях, детонация в двигателях внутреннего сгорания [5]. Во всех случаях были проведены стендовые испытания, при которых двигатель из нормального режима работы доводили до нерасчетных режимов, измеряя при этом соответствующие диагностические признаки.

Литература

1. Карасев В.А., Ройтман А.Б. Доводка эксплуатируемых машин. Вибродиагностические методы. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
2. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов / Ю.Н. Васильев, М.Е. Бесклетный, Е.А. Игуменцев и др. – М.: Недра, 1987. – 197 с.
3. Тырсин А.Н., Малыгин В.В., Семенычев В.К. Использование безразмерных моментных дискриминантов в вибропрочностных исследованиях при стендовых испытаниях турбомашин // Автоматизация испытаний объектов машиностроения: Тез. докл. науч.-практ. семинара. – Челябинск, 1990. – С. 34–35.
4. Сидоренко М.К. Виброметрия газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.
5. Тырсин А.Н. Параметрическое определение динамических характеристик механических систем в задачах диагностики // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Куйбышев, 1991. – 19 с.

454085, г. Челябинск, ул. Марченко, 21а - 51, т. 74-82-21, e-mail: at@sla.urf.ac.ru.

УДК [621.039.534...25]:534.1

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

А.В. Чернов, С.Э. Гоок, А.И. Левин

Волгодонский институт Южно-Российского государственного
технического университета (НПИ)

Д.В. Сиротин

Волгодонский Центр Всероссийского научно-исследовательского
института атомного машиностроения

Представлен вариант автоматизированной системы технического диагностирования внутрикорпусных устройств теплообменных аппаратов. Автоматизированная система реализует метод виброакустической диагностики, основанный на анализе частотных характеристик виброакустического сигнала.

Результаты многочисленных исследований в области обеспечения вибрационной надежности теплообменных аппаратов (ТА) позволили внести ряд эффективных изменений в их конструкции, но несмотря на это вибрационные повреждения остаются одной из основных причин выхода из строя оборудования данного типа [1]. Наименее надежными в этом отношении являются внутрикорпусные устройства (ВКУ), поскольку они на-

ходятся в условиях значительного силового воздействия турбулентного потока жидкого или газообразного теплоносителя [2,3].

Для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации теплообменного оборудования, эксплуатируемого в составе энергетических комплексов АЭС и ТЭЦ, актуальной является проблема осуществления оперативного контроля его технического состояния и раннего предупреждения аварийных ситуаций, которые могут возникнуть в результате вибрационных повреждений ВКУ. Большинство штатных методик контроля выявляют неисправности ТА в период проведения планово-предупредительного ремонта и не решают задачи оперативной оценки технического состояния данного оборудования. В связи с этим актуальной является задача разработки автоматизированной системы оперативного диагностирования чувствительной к изменению технического состояния ВКУ ТА и способной осуществлять функции получения, сбора, накопления и обработки измерительной информации, и представления заданных результатов эксперимента исследователю.

Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия ВКУ ТА с обтекающим потоком [2,3,4] позволили сделать вывод о том, что отклик колебательной системы на возмущение со стороны потока происходит на собственной частоте, которая является характеристикой конструкции. Предположение о том, что основным носителем информации о техническом состоянии ВКУ ТА является виброакустический сигнал, а отклик конструкции на возбуждение происходит на собственной частоте, легло в основу разработки спектрального метода диагностики. В качестве диагностического признака принято смещение максимумов спектральной характеристики виброакустического сигнала (собственных частот ВКУ) под влиянием изменения состояния конструкции в процессе ее разрушения.

Получение априорной информации о собственных частотах конструкции для исправного состояния и при наличии возможных разрушений производится с помощью диагностической модели, описываемой системой дифференциальных уравнений второго порядка вида:

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{G\}, \quad (1)$$

где $[M]$, $[C]$, $[K]$ – симметричные ($n \times n$) матрицы коэффициентов инерции, демпфирования и жесткостей; $\{X\}$ и $\{G\}$ – n -мерные векторы координат и действующих сил.

Способом формирования системы уравнений (1) является метод конечных элементов (МКЭ).

Предложенный метод диагностирования ВКУ ТА был реализован в автоматизированной системе, прошедшей промышленную апробацию в производственных условиях цеха теплоснабжения Волгодонской ТЭЦ-2. Структурная схема автоматизированной системы диагностирования приведена на рис. 1.

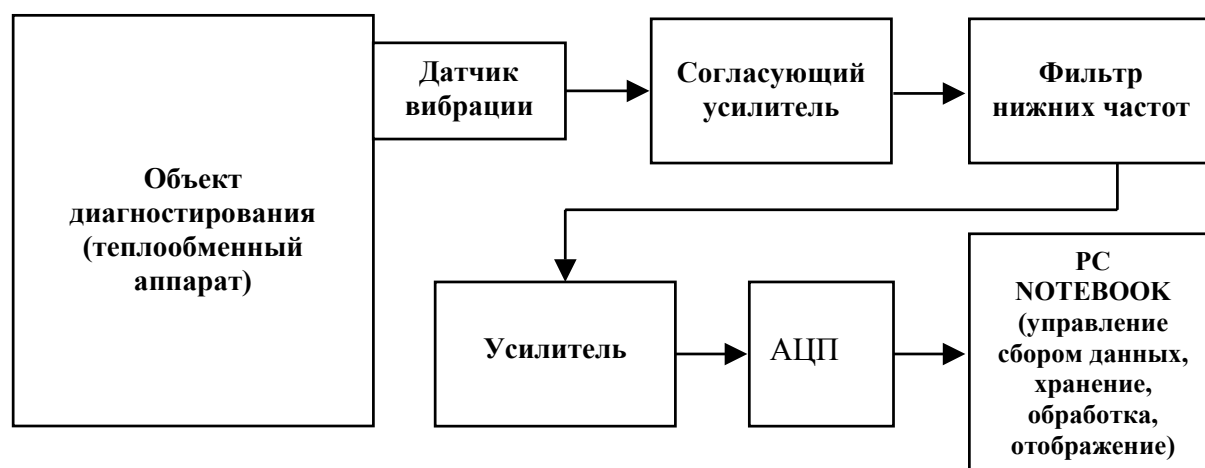


Рис.1. Структурная схема автоматизированной системы диагностирования ВКУ ТА

Система представляет мобильный комплекс программно-технических средств, состоящий из виброакустических датчиков, кабельных линий связи, устройства согласования, блока фильтрации, усилителя, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и персонального компьютера NOTEBOOK, выполняющего функции управления сбором данных, а также хранения, обработки и отображения информации.

При испытании автоматизированной системы объектом диагностирования являлся теплообменник отбора проб, включенный в технологическую цепь цеха теплоснабжения Волгодонской ТЭЦ-2. Для вытеснителя теплообменника с использованием МКЭ построена расчетная модель, для которой получены собственные частоты для исправного состояния вытеснителя и при разрушении узлов крепления ($f_{расч} = 417,07; 144,72; 77,69; 63,01$ Гц). Результат обработки сигналов с помощью преобразования Фурье показан на рис. 2 и представляет собой результирующий спектр, полученный путем наложения спектров измеренных автоматизированной системой с периодом 1-2 недели.

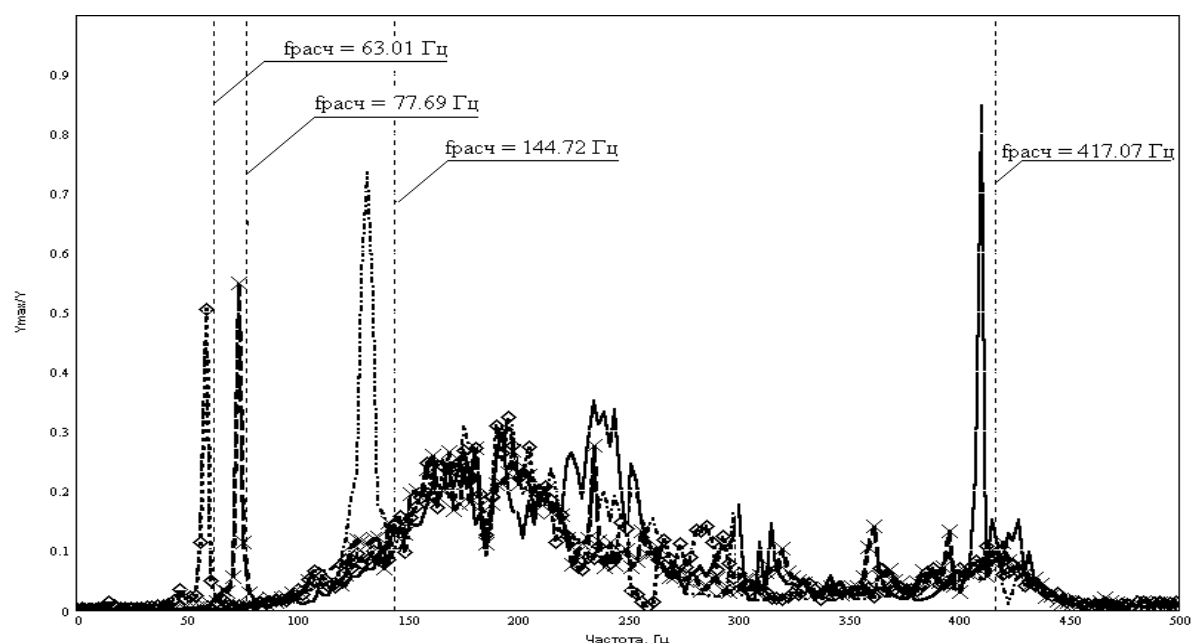


Рис.2. Распределение частот колебаний ВКУ в спектре виброакустического сигнала

Характерное смещение наблюдаемых максимумов спектральной плотности виброакустического сигнала в область более низких частот, а также сравнение их с расчетными значениями собственных частот позволило идентифицировать дефект типа «износ узлов крепления вытеснителя». Величина максимального относительного отклонения расчетных и экспериментальных данных составляет 5,85% и для данных условий является приемлемой [5].

Результаты, полученные при выполнении настоящей работы, показали, что разработанная автоматизированная система достаточно чувствительна к изменению технического состояния ВКУ и при соответствующей доработке может быть использована в промышленности.

Литература

1. Бродов Ю.М., Резникова Р.С., Краснова Г.И., Чайка А.И. Анализ показателей надежности теплообменных аппаратов турбоустановок ТЭС // Энергомашиностроение. – 1982. – № 11. – С. 35-36.
2. Федорович Е.Д., Фокин Б.С., Аксельрод А.Ф., Гольдберг Е.Н. Вибрации элементов оборудования ЯЭУ. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 13-20.
3. Махутов Н.А., Каплунов С.М. Вибрация и долговечность судового энергетического оборудования. – Л.: Судостроение, 1985. – С. 5-18.
4. Гок С.Э. Экспериментальная установка для отработки методики диагностирования теплообменных аппаратов // Новые материалы, приборы и технологии: Сб. науч. тр. / Волгодонский ин-т; Новочерк. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: Набл, 1998. – С. 77-81.
5. Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибраций машин. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 144-147.

347340, г. Волгодонск, б-р Великой Победы-13, ВЦ ВНИИАМ, e-mail: vniiam64@vnet.ru.

УДК 616-07

МОДИФИЦИРОВАНИЕ МНОГОЧЛЕНОВ ЯКОБИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Л. Петров

Московский государственный горный университет

Реализован алгоритм модификации ортогональных многочленов Якоби с целью получения новых функционалов, позволяющих осуществлять диагностику электромеханических систем на основе спектральных методов анализа.

Спектральные методы определения характеристик динамических систем основаны на вычислении параметров разложения импульсной переходной характеристики (ИПХ), как правило, в ряд ортогональных функций. Диагностика электромеханических систем (ЭМС) успешно осуществляется в этом случае путем установления связи между составляющими спектра (коэффициентами разложения) и параметрами оператора ЭМС. Вид зависимостей, характеризующих такие связи, определяется типом используемого ортогонального многочлена. Ввиду специфических свойств большинства

ортогональных многочленов не все из них могут быть использованы для решения подобного рода задач. Необходимы их дополнительные модификации, позволяющие получить новые формы функционалов для спектральных методов моделирования и диагностики ЭМС, не требующих установления жестких ограничений. В данной работе рассматриваются алгоритмы модификации ортогональных многочленов Якоби и построения математических моделей ЭМС для решения задач диагностики.

Ортогональные многочлены Якоби образуют ортогональную систему функций на сегменте $[-1;1]$ с весом $p(x) = (1-x)^\alpha (1+x)^\beta$, $x \in [-1;1]$, $\alpha > -1$, $\beta > -1$. Каждый элемент системы функций Якоби определяется в соответствии с выражением [6]

$$P_n(x; \alpha, \beta) = \frac{(-1)^n}{n! 2^n} \sum_{k=0}^n (-1)^k C_n^k \frac{\Gamma(\alpha + n + 1) \Gamma(\beta + n + 1)}{\Gamma(\alpha + n - k + 1) \Gamma(\beta + k + 1)} (1-x)^{n-k} (1+x)^k, \quad (1)$$

где $\Gamma(n)$ – гамма функция.

Преобразовав выражение (1), получим

$$P_n(x; \alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha + n + 1) \Gamma(\beta + n + 1)}{2^n n!} \times \sum_{k=0}^n \frac{(1-x)^{n-k} (1+x)^k}{\Gamma(\alpha + n - k + 1) \Gamma(\beta + k + 1) (n-k)! k!}. \quad (2)$$

Учитывая, что квадрат нормы многочлена (2) с весом $p(x) = (1-x)^\alpha (1+x)^\beta$ определяется выражением [6]

$$h(\alpha, \beta) = \frac{2^{\alpha+\beta+1} \Gamma(\alpha + n + 1) \Gamma(\beta + n + 1)}{n! (\alpha + \beta + 2n + 1) \Gamma(\alpha + \beta + n + 1)}, \quad (3)$$

представим ортонормированный многочлен Якоби в следующем виде:

$$\begin{aligned} \overline{P}_n(x; \alpha, \beta) &= \frac{1}{\sqrt{h(\alpha, \beta)}} P_n(x; \alpha, \beta) = \\ &= \sqrt{\frac{n! (\alpha + \beta + 2n + 1) \Gamma(\alpha + \beta + n + 1) \Gamma(\alpha + n + 1) \Gamma(\beta + n + 1)}{2^{\alpha+\beta+2n+1}}} \times \\ &\times \sum_{k=0}^n \frac{(1-x)^{n-k} (1+x)^k}{\Gamma(\alpha + n - k + 1) \Gamma(\beta + k + 1) (n-k)! k!}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для построения ортогональной модели электромеханических систем на основе ортонормированных многочленов Якоби используем метод разложения оператора ЭМС (или аппроксимации импульсной переходной характеристики – ИПХ) рядом ортогональных функций.

При использовании алгоритмов аппроксимации ИПХ интервал ортогональности функционального многочлена должен соответствовать ин-

тервалу определения ИПХ – это делает необходимыми дополнительные преобразования.

Произведем модификацию многочленов Якоби в два этапа:

1. Реализуем подстановку для $P_n = (x; \alpha, \beta)$ в виде $x = 1 - 2y$, результатом которой будет новый функциональный многочлен, обладающий свойством ортогональности на сегменте $[0; 1]$.

2. Реализуем подстановку для $P_n(1 - 2y, \alpha, \beta)$ в виде, результатом которой будет новый функциональный многочлен, обладающий свойством ортогональности на сегменте $[0; \infty]$.

В результате преобразований получим выражение для модифицированного ортогонального функционала Якоби

$$P_n(u, t; \alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha + n + 1)\Gamma(\beta + n + 1)\Gamma(n + 1)(-1)^n}{n!e^{nut}} \times \sum_{k=0}^n \frac{(1 - e^{ut})^k}{\Gamma(n - k + 1)\Gamma(\alpha + n - k + 1)\Gamma(\beta + k + 1)\Gamma(k + 1)}. \quad (5)$$

В соответствии с формулой Ньютона для $(1 - e^{ut})^k$, получим еще одно выражение для модифицированного ортогонального функционала Якоби

$$P_n(u, t; \alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha + n + 1)\Gamma(\beta + n + 1)(-1)^n}{e^{nut}} \times \sum_{k=0}^n \frac{1}{\Gamma(n - k + 1)\Gamma(\alpha + n - k + 1)\Gamma(\beta + k + 1)} \sum_{j=0}^k \frac{(-1)^j e^{utj}}{\Gamma(j + 1)\Gamma(k - j + 1)}. \quad (6)$$

Ортонормированный модифицированный функциональный многочлен Якоби определяется из выражения (6) после процедуры нормировки и имеет вид:

$$\overline{P_n}(u, t; \alpha, \beta) = (-1)^n \sqrt{u \Gamma(\alpha + n + 1)\Gamma(n + 1)\Gamma(\alpha + \beta + n + 1)(\alpha + \beta + 2n + 1)\Gamma(\beta + n + 1)} \times e^{-\frac{ut(\alpha + \beta + 2n + 1)}{2}} \sum_{k=0}^n \frac{[1 - e^{(u t)}]^{\frac{2k + \beta}{2}}}{\Gamma(k + 1)\Gamma(n - k + 1)\Gamma(\alpha + n - k + 1)\Gamma(\beta + k + 1)}. \quad (7)$$

Исследуем некоторые разновидности функциональных многочленов Лежандра (7) при различных значениях α, β .

1. $\alpha = 0, \beta = 0$.

$$\overline{P_n}(u, t; \alpha = 0, \beta = 0) = (-1)^n \Gamma(n + 1)^2 \sqrt{u(2n + 1)} \times e^{-\frac{ut(2n + 1)}{2}} \sum_{k=0}^n \frac{[1 - e^{(u t)}]^k}{\Gamma(k + 1)^2 \Gamma(n - k + 1)^2}. \quad (8)$$

Полученное выражение (8) адекватно ортонормированным функциям Лежандра, исследованным в работе [4].

2. $\alpha \neq 0, \beta = 0$.

$$\overline{P_n(u, t; \alpha, \beta = 0)} = (-1)^n \Gamma(n+1) \Gamma(\alpha + n + 1) \sqrt{u(\alpha + 2n + 1)} e^{-ut \frac{2n + \alpha + 1}{2}} \times \\ \times \sum_{k=0}^n \frac{[1 - e^{(u t)}]^k}{\Gamma(k+1)^2 \Gamma(n-k+1) \Gamma(\alpha + n - k + 1)} \quad (9)$$

Первые три функции Якоби (9) при $\beta = 0$ имеют вид:

$$\overline{P_0(u, t; \alpha, \beta = 0)} = \sqrt{u(\alpha + 1)} e^{-ut \frac{\alpha + 1}{2}}, \\ \overline{P_1(u, t; \alpha, \beta = 0)} = \sqrt{u(\alpha + 3)} e^{-ut \frac{\alpha + 3}{2}} [-2 - \alpha + (\alpha + 1)e^{ut}], \\ \overline{P_2(u, t; \alpha, \beta = 0)} = \sqrt{u(\alpha + 5)} \left[e^{2ut} (-\alpha^2 - 3\alpha - 2) - (2\alpha^2 + 10\alpha + 12)e^{ut} - \right. \\ \left. - (-12 - 7\alpha - \alpha^2) e^{-\frac{ut(\alpha + 5)}{2}} \right].$$

Определенный интерес для анализа ИПХ ЭМС представляют результаты преобразований Лапласа для выражения (9)

$$W_{\overline{P_n(u, t; \alpha, \beta = 0)}}(p) = \sqrt{u(\alpha + 2n + 1)} \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \left(\frac{\alpha + 2i + 1}{2} u - p \right)}{\prod_{i=0}^n \left(\frac{\alpha + 2i + 1}{2} u + p \right)}.$$

3. $\alpha = 0, \beta \neq 0$.

$$\overline{P_n(u, t; \alpha = 0, \beta)} = (-1)^n \Gamma(n+1) \Gamma(\beta + n + 1) \sqrt{u(\beta + 2n + 1)} e^{-ut \frac{2n + \beta + 1}{2}} \times \\ \times \sum_{k=0}^n \frac{[1 - e^{(u t)}]^{k + \frac{\beta}{2}}}{\Gamma(k+1) \Gamma(n-k+1)^2 \Gamma(\beta + k + 1)}.$$

Первые три функции Якоби при $\alpha = 0, \beta \neq 0$ имеют вид:

$$\overline{P_0(u, t; \alpha = 0, \beta)} = \sqrt{u(\beta + 1)} e^{-ut \frac{\beta + 1}{2}} \left(1 - e^{\frac{ut\beta}{2}} \right); \\ \overline{P_1(u, t; \alpha = 0, \beta)} = -\Gamma(\beta + 1) \sqrt{u(\beta + 3)} e^{-ut \frac{\beta + 3}{2}} \left[\frac{1 - e^{\frac{ut\beta}{2}}}{\Gamma(\beta + 1)} + \frac{1 - e^{\frac{3ut\beta}{2}}}{\Gamma(\beta + 2)} \right]; \\ \overline{P_2(u, t; \alpha = 0, \beta)} = 2 \Gamma(\beta + 3) \sqrt{u(\beta + 5)} e^{-ut \frac{\beta + 5}{2}} \times \\ \times \left[\frac{1 - e^{\frac{ut\beta}{2}}}{4\Gamma(\beta + 1)} + \frac{1 - e^{\frac{3ut\beta}{2}}}{\Gamma(\beta + 2)} + \frac{1 - e^{\frac{5ut\beta}{2}}}{\Gamma(\beta + 3)} \right].$$

Математическая модель для диагностики параметров оператора ЭМС во временной области при использовании ортонормированных функций Якоби имеет вид

$$h_{\text{ЭМС}}(t) = \sum_{i=0}^n \varphi_j \overline{P_i(u, t; \alpha, \beta)},$$

где $h_{\text{ЭМС}}(t)$ – импульсная переходная характеристика моделируемой системы; φ_j – коэффициенты разложения ИПХ в ряд многочленов Якоби $\overline{P_i(u, t; \alpha, \beta)}$.

Задаваясь структурой оператора (ИПХ) и видом ортогональной функции, можно установить взаимосвязь между параметрами оператора и коэффициентами разложения импульсной переходной характеристики.

Литература

1. Современные методы идентификации систем / Под ред. П. Эйхоффа. – М.: Мир, 1983.
2. Петров В.Л. Математическое обеспечение для идентификации электромеханической системы горных машин на основе представления оператора рядом функций Лагерра // ГИАБ, МГГУ. – М., 2002. – № 1. – С. 19-21.
3. Петров В.Л. Оптимизация процедуры идентификации линейных динамических объектов // ГИАБ, МГГУ. – М., 2002. – № 2. – С. 21-25.
4. Петров В.Л. Моделирование электромеханических систем горных машин на основе представления оператора рядом ортогональных функций Лежандра // ГИАБ, МГГУ. – М., 2002. – № 8. – С. 9-12.
5. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987.
6. Суетин П.К. Классические ортогональные многочлены. – М.: Наука, 1970.

119991, Москва, Ленинский пр-т, 6, МГГУ, e-mail: pvlmsmu@mail.ru.

УДК 681.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

И.В. Матерн

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассмотрен подход к проектированию быстродействующих электромагнитных механизмов с заданными динамическими свойствами.

С каждым годом все более широкое применение находят устройства, включающие в себя электромагнитные механизмы (электромагнитный подвес, медицинская техника и т.д.). В связи с этим становится актуальной проблема разработки систем управления этими механизмами с учетом областей применения, одной из которых является создание быстродействующего электромагнитного клапана. Сама идея создания такого вида клапанов не нова [1], однако новыми являются условия эксплуатации данного устройства, такие как: сложные динамические режимы работы, широкий диапазон температур эксплуатации.

В качестве исходных данных для проектирования систем управления быстродействующими электромагнитными механизмами целесообразней всего принимать закон изменения скорости $\frac{dx(t)}{dt}$ (или перемещения) подвижной части электромагнитного механизма от времени. Зависимость скорости от времени является универсальной динамической характеристикой, определяющей, с одной стороны, время движения системы, износостойкость и срок службы элементов конструкции, в которой электромагнит играет роль привода, с другой, – характер процессов в самом электромагните за счет изменения потокоцепления при движении якоря [2]. Кроме того заданный закон $\frac{dx(t)}{dt}$ обеспечивает наиболее точное определение величины $\frac{d^2x(t)}{dt^2}$, необходимой для дальнейших вычислений тяговых характеристик электромагнитного механизма и т.д.

Используя известное выражение

$$U(t) = iR + \frac{d\psi(i, x)}{dt},$$

(где $U(t)$ – мгновенное значение питающего напряжения; i – ток в обмотке электромагнита; R – активное сопротивление обмотки; $\psi(i, x)$ – потокоцепление обмотки) были получены зависимости [2], обеспечивающие заданный закон перемещения подвижного элемента:

$$i(t) = K \sqrt{\left(m^* \frac{d^2x}{dt^2} + \xi \frac{dx}{dt} + cx + P_0 \right) (\delta_0 - x)^{7/4}}, \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{\sqrt{0,5 \omega^2 \mu_0 D' a^{7/4}}},$$

$$\begin{aligned} U(t) = & K \sqrt{\left(m \frac{d^2x}{dt^2} + \xi \frac{dx}{dt} + cx + P_0 \right) (\delta_0 - x)^{7/4}} \left(R + \frac{0,75 K}{(\delta_0 - x)^{3/4}} \frac{dx}{dt} \right) + \\ & + \left(K_1 K_2 + \frac{K_1}{(\delta_0 - x)^{3/4}} \right) K_4 \left(m \frac{d^2x}{dt^2} + \xi \frac{dx}{dt} + cx + P_0 \right)^{1/2} (\delta_0 - x)^{7/4} \times \\ & \times \frac{m \frac{d^3x}{dt^3} + \xi \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt}}{2 \left(m \frac{d^2x}{dt^2} + \xi \frac{dx}{dt} + cx + P_0 \right)} - \frac{7}{8} \frac{\frac{dx}{dt}}{(\delta_0 - x)}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$K_1 = 0,75 \omega^2 \pi \mu_0 D a^{7/4};$$

$$K_2 = \frac{2\beta\lambda_s n}{3\mu_0 D a^{3/4}},$$

где m – масса подвижной системы; ξ , c – коэффициенты, определяющие противодействующие усилия, зависящие от скорости движения и перемещения; P_0 – постоянное противодействующее усилие; δ_0 – начальное значение зазора; D' – постоянная, определяемая конструкцией; a – определяющий размер электромагнита (сторона квадратного сечения полюса магнитной системы или диаметра сердечника для броневого электромагнита); D – коэффициент, зависящий от конструкции электромагнита; λ_s – удельная проводимость рассеяния.

Выражения (1) и (2) дают возможность сформулировать алгоритм функционирования системы управления.

Данная система может являться как системой регулирования тока в обмотке приводного электромагнита, так и напряжения. Как следствие возникает вопрос о выборе вида управления. Управления по току, как и по напряжению, имеют свои достоинства и недостатки. В соответствии с [3] существуют следующие преимущества управления по напряжению:

- более точная модель объекта;
- меньшая неустойчивость объекта;
- более простой усилитель (усилитель напряжения);
- лучшее использование границ источника питания;
- возможность использования обратной связи от механической к электрической системе.

Преимущества управления по току:

- проще объект управления;
- используется более простой PD- или PID-регулятор.

Таким образом, применение того или иного вида регулирования зависит также от конкретного объекта. На практике использование управления по току допустимо, прежде всего, в «малых» системах, где максимальное выходное напряжение усилителя может быть во много раз больше номинального напряжения на обмотке магнита. В системах (прежде всего в «больших»), где нет возможности установить повышенный резерв по питанию, целесообразно использовать управление по напряжению.

Литература

1. Гордон А.В., Сливинская А.Л. Электромагниты постоянного тока. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 446 с.
2. Никитенко А.Г., Бахвалов Ю.А., Никитенко Ю.А., Щербаков В.Г. О проектировании электромагнитов с заданными динамическими свойствами // Изв. вузов. Электромеханика. – 1998. – № 9. – С. 53-58.
3. Schweitzer G., Traxler A., Bleuer H. Magnetlager. Berlin: Springer-Verlag, 1995. – 560 S.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ(НПИ), ИИиИТиУ, каф. ИииМТ,
e-mail: matiwr@rambler.ru.

К ОБОСНОВАНИЮ СТЕПЕНИ ДЕТАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ

И.Н. Меркель

Владимирский государственный университет

Приводятся материалы анализа эффективности степени детализации моделей различного характера, предлагается критерий оценки степени детализации.

Примеры расчета цены услуги в [1] показывают, что автоматизация выпуска даже простейшего документа может стать громоздкой и трудоемкой задачей: для детального расчета может использоваться громоздкая модель, в которой нужно определить (или задать) и использовать многие параметры. Причем увеличение числа учитываемых параметров непропорционально повышает сложность и громоздкость расчетов [2].

Рекомендовать детальные модели не всегда целесообразно еще и потому, что увеличение степени детальности модели не всегда влечет за собой ощутимый эффект (рис. 1). В самом деле, в любой модели первыми учитываются наиболее значимые факторы, что дает наибольший эффект. Детализация модели происходит за счет учета все менее значительных факторов, что дает соответственно все меньший прирост эффективности. Трудоемкость же использования модели при увеличении размерности возрастает всегда прогрессивно, что иллюстрируют, например, данные по оценке вычислительной сложности операций над матрицами [1].

В качестве критерия эффективности степени детализации может использоваться отношение

$$D_{\Delta N} = \Delta \mathcal{E} / \Delta Z,$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – приращение эффективности модели, ΔZ – приращение затрат на применение модели при увеличении числа используемых факторов на ΔN . Пока $D_{\Delta N} \geq 1$ включение дополнительных факторов эффективно (эффективная область на рис. 1); при $D_{\Delta N} < 1$ дальнейшее увеличение степени детализации не дает соразмерного повышения эффективности и потому чаще всего не имеет смысла (критическая область на рис. 1).

Аналогичные условия применимы и к описанию ресурсов компонентов информационной системы (ИС) в форме ресурсной матрицы [1]. При этом каждый из компонентов ИС имеет свою специфику в определении размерности и детальности его описания.

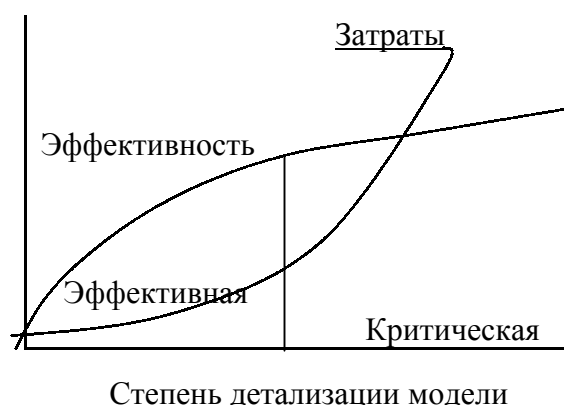


Рис.1. К определению эффективной степени детализации модели

Вычислительные компоненты характеризуются производительностью. Однако даже в ПК расчетное определение этой характеристики не является элементарным. Еще более сложно определить производительность программных средств. Поэтому вычислительные ресурсы обычно оцениваются в ИС как ресурс некоторой базовой платформы на основе тестирования стандартными тестами. Производительность приложений тоже характеризуется результатами испытаний в условиях работы системы. Производительность сетевых компонентов и периферийных устройств обычно определяется и задается достаточно уверенно.

Определение характеристик персонала как ресурса представляет собой аналогичную задачу: описание может быть более или менее детальным с учетом категорий, оплаты труда, требований по производительности и т.д. Например, можно ввести единообразное описание персонала путем приведения к некоторой условной (базовой) квалификации работника, как это принято в единой тарифной сетке оплаты труда работников из государственного бюджета; за основу может быть принята и средняя зарплата.

Правда, связь между зарплатой, квалификацией работника и его производительностью является нечеткой. Скорее всего, информационному менеджеру конкретной ИС придется пользоваться принятыми на предприятии нормативами оплаты труда, не вдаваясь в детали их обоснования.

Тем не менее, и в этих условиях на основе анализа показателей по всей сфере ОИ или по отдельным ее участкам можно попытаться обосновать, сколько и каких работников нужно иметь в сфере ОИ в целом или на каком-то ее участке и какие к ним должны предъявляться требования. Для выработки и обоснования таких нормативов потребуется провести по описанию и анализу функций, выполняемых работниками, а также по оценке стоимости этих функций функционально-стоимостной анализ [1], для чего необходимо сформировать целенаправленную программу совершенствования нормативной базы менеджмента в сфере ОИ.

При выполнении этой работы, кроме технически обоснованного нормирования, могут быть также рекомендованы статистические методы ценообразования, а также определение цен на услуги и других экономических показателей сферы ОИ на основе аналогии (прототипа) методами экспертной оценки и другими известными методами.

Автор выражает благодарность А.В. Кострову за внимание и содействие в выполнении данного исследования.

Литература

1. Костров А.В., Меркель И.Н., Морев С.А. Оценка эффективности информационных систем. – Владимир: Ярсвет, 2002. – 94 с.
2. Костров А.В. Основы информационного менеджмента. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 336 с.

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, кафедра ИСИМ, т. (0922)27-99-77,
e-mail: kostrov@vpti.vladimir.su.

ИНТЕГРАЦИЯ ГИС И СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА, ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ПРОЦЕССОВ

А.М. Фёдоров

Кольский научный центр РАН. Институт информатики
и математического моделирования технологических процессов, г. Апатиты

Рассматриваются вопросы использования ГИС и систем динамического моделирования для решения задач оценки состояния и перспектив развития предприятия, комплексов и отраслей. Особое внимание уделяется интеграции этих двух систем в одну полнофункциональную систему.

В связи с бурным развитием экономики России в последние годы, поиск, разработка и научное обоснование методов и способов оценки состояния и перспектив развития предприятий, комплексов и целых отраслей является актуальной задачей. Такие методы позволили бы руководителям намного качественнее, эффективнее и своевременно решать поставленные задачи в условиях стремительно изменяющейся как экономической, так и политической обстановки в стране.

Очевидно, что в рамках многих вопросов управления предприятием и т.п. рассматриваются пространственные и распределенные объекты, например:

1. Задачи, связанные с развитием и оптимизацией процессов на предприятиях (оценка используемых производственных площадей; зоны выработки, движение транспорта и т.д.).
2. Задачи, связанные с безопасностью и экологической обстановкой на предприятиях (оценка областей и уровни загрязнения, шума и т.д.).
3. Задачи, связанные с управлением предприятием в целом и внешними связями (действующие и потенциальные партнеры, конкуренты, потребители и т.д.) и другие задачи.

Все перечисленные задачи связаны с объектами, которые помимо собственных специфических свойств могут быть отображены на карте, в результате чего работа с ними значительно упрощается. Поэтому для решения задач по оценке состояния и перспектив развития, связанных с пространственно-распределенными объектами предлагается использовать современные ГИС-технологии [1].

ГИС – представляет собой программно-технические и технологические средства накопления, системного анализа, интерпретации в виде картографического изображения территориально-привязанных данных [2]. Для разных масштабов задач управления (предприятие, комплекс, отрасль и т.п.) используется соответствующее программное обеспечение – ArcView, ESRI Arc/INFO, ИнГео, библиотека MapObjects и т.п.

Способность ГИС визуализировать статические данные на электронной карте повышает наглядность, что ускоряет процесс решения рас-

смаатриваемых задач. Однако в рамках этих задач осуществляется работа со сложными динамическими процессами, поэтому для их решения указанных свойств ГИС не вполне достаточно [3]. Требуются дополнительные средства, позволяющие учитывать динамику как исследуемых процессов в целом, так и отдельных объектов в частности. Частично такие задачи можно решить используя встроенные в ГИС средства программирования, такие как, например, языки SML и Avenue (в ArcView и ESRI Arc/INFO) совместно с внутренними средствами моделирования (TrackingLayer). Вследствие функциональной ограниченности перечисленных способов для анализа и оценок предлагается использовать методы динамического моделирования, реализованные в соответствующих инструментальных системах динамического моделирования (СДМ) как общего, так и специального назначения.

Системы динамического моделирования позволяют строить имитационные модели различных процессов для оценки их динамических характеристик [4]. Примерами таких систем служат PowerSim, Vensim, Ithink и т.п.

Совместив функциональные возможности ГИС и СДМ, можно получить универсальный и эффективный инструмент для прогноза, оценки и анализа процессов различных масштабов, протекающих в рамках предприятий, комплексов и целых отраслей [5]. Преимущество интегрированной системы перед разрозненным набором инструментальных средств заключается в том, что используемые данные о рассматриваемых объектах и их элементах представляются в едином формате и не требуют дополнительных преобразований. Использование единого формата интегрированной системы ГИС и СДМ позволило бы легко преобразовывать ее из системы общего назначения в проблемно-ориентированную.

Литература

1. Хаксхольд В. Е. Введение в городские географические информационные системы. – New York: Oxford University Press, 1991. – 316 с.
2. Матвеев П.И., Олейник А.Г., Фридман А.Я. Полнофункциональная СППР в области управления пространственными объектами: структура и принципы работы // Имитационное моделирование в исследованиях проблем регионального развития: Сб. науч. тр. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. – С 42-49.
3. В.А. Путилов, А.В. Сютин, Динамическое моделирование в управлении научно-исследовательскими процессами // Имитационное моделирование в исследованиях проблем регионального развития: Сб. науч. тр. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. – С. 6-13.
4. Powersim 2.5 Reference manual. – Herndon, USA: Powersim Press, 1996. – 427 p.
5. Van Deursen W.P.A. Geographical Information Systems and Dynamic Models. Ph.D. thesis, Utrecht University, 1995, NGS Publication 190, 198 pp. Electronically available through www.carthago.nl.

184209, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24-а, т. (81555)79248,
e-mail: fedorov@iimm.kolasc.net.ru.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ТРЕНДОВ В ЦИКЛИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

И.И. Надтока, А.А. Мальцева, О.А. Сухомлинова

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Проведен сравнительный анализ разложения годовых графиков суточного потребления электрической энергии по методу главных компонент, k -функций и при помощи рядов Фурье, рассматриваются достоинства и недостатки каждого из них. Дается оценка точности восстановления графиков по перечисленным методам при одинаковом числе компонент разложения.

При разработке методов и алгоритмов оперативного, краткосрочного и долгосрочного прогнозирования процессов потребления электроэнергии в энергосистемах и на промышленных предприятиях одной из главных задач является выделение трендовой составляющей в аддитивной модели вида [1, 2]:

$$X(t) = X_D(t) + X_R(t);$$

$$P(t) = P_D(t) + P_R(t),$$

где $P_D(t)$ – тренд процесса $P(t)$, имеющий суточную, недельную или сезонную цикличность; $P_R(t)$ – случайная составляющая процесса $P(t)$.

С точки зрения прогнозирования и построения модели важным свойством разложения для выделения тренда является сохранение свойств процесса при исключении части компонент разложения, то есть при снижении размерности пространства параметров.

Наиболее часто в качестве модели тренда используется ортогональные составляющие разложения в ряд Фурье. Другими перспективными направлениями разложения по ортогональным составляющим временного ряда являются разложение Карунена-Лоэва или разложение метода главных компонент [3], а также метод k -функций [4]. Проведем анализ этих трех методов моделирования тренда и дадим краткое их описание.

а) **Метод главных компонент:**

– прямой ход $P = UF$,

– обратный ход $F = U^{-1}P$,

где P – матрица годовых графиков потребления электрической энергии за период 1997-2001 гг. (365 x 5), U и U^{-1} – прямая и обратная матрицы собственных векторов (365 x 365) соответственно; F – матрица главных компонент (365 x 5).

Недостатком данного метода является большое количество вычислений (за счет умножения матриц больших размеров), а также необходимость наличия дополнительной информации о годовых графиках за другие годы (так при восстановлении годового графика за 2001 год были исполь-

зованы четыре годовых графика за предыдущие годы: 1997–2000 гг.). Достоинством – достаточно большая точность восстановления разлагаемого графика при малом количестве используемых главных компонент (для точного восстановления годового графика потребления электроэнергии – 5 первых компонент). Кроме того, метод главных компонент позволяет строить прогнозные модели с использованием графиков потребления за предыдущие годы [5].

б) Разложение в ряд Фурье:

$$- \text{ прямой ход } c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \varphi_k = -\arctg\left(\frac{b_k}{a_k}\right), \quad a_0 = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N y(x_i),$$

где k – номер гармоники $1..N/2$ (N – количество точек в разлагаемом графике, в нашем случае – 365 точек); c_k – амплитуда; φ_k – фаза гармоники (косинусоиды); a_k, b_k – коэффициенты разложения Фурье:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N y(x_i) \cos \frac{2\pi k x_i}{T},$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N y(x_i) \sin \frac{2\pi k x_i}{T},$$

где x_i – i -я точка годового графика; $y(x_i)$ – значение потребления электроэнергии в i -й точке; T – период измерения (в нашем случае 365 точек).

– обратный ход:

$$y(x_i) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^R (c_k \cos(\frac{2\pi k x_i}{T} + \varphi_k)),$$

где k – номер гармоники ($1..R$); R – количество гармоник в разложении.

При восстановлении годового графика по разложению в ряд Фурье коэффициент a_0 должен участвовать в восстановлении графика обязательно, так как этот коэффициент определяет, по сути дела, среднее значение ряда. Недостатком разложения в ряд Фурье является большое количество коэффициентов ($\leq N/2$), которое необходимо подсчитать, чтобы получить приемлемую точность вычисления. Кроме того, попытка выделения в годовом разложении недельной составляющей (которая содержится в c_{52} – коэффициенте при гармонике, период которой равен приблизительно семи) [6] не дал желаемого результата из-за того, что количество дней в году не делится нацело на семь (7 суток в неделе). Информация о недельном тренде частично содержится в соседней компоненте (c_{51}).

в) К-разложение:

– **прямой ход:**

$$\left. \begin{aligned} a_{1,j}^1 &= x_m, \quad \text{где } m = 1...2^{q-1}, \\ a_{2,j}^1 &= x_m, \quad \text{если } m > N, \\ a_{2,j}^1 &= 0, \quad \text{если } m > N \end{aligned} \right\} \quad \text{где } m = 2^{q-1} + 1...2^q,$$

$$\begin{aligned}
k_{i,j} &= \frac{a_{1,j}^i - a_{2,j}^i}{2}, \\
a_{1,j}^i &= \frac{a_{1,j}^{i-1} + a_{2,j}^{i-1}}{2}, \text{ где } j = 1..2^{q-i}, \quad i = 2..q, \quad (2^q = M), \\
a_{2,j}^i &= \frac{a_{1,j}^{i-1} + a_{2,j}^{i-1}}{2}, \text{ где } j = 2^{q-i} + 1..2^q, \quad i = 2..q, \quad (2^q = M), \\
k_{0,1} &= \frac{a_{1,1}^{q-1} + a_{2,1}^{q-1}}{2},
\end{aligned}$$

где N – количество элементов в исходном разлагаемом ряде; M – количество элементов в дополненном нулями ряде; m – счетчик элементов в дополненном нулями ряде; x_m (при $m = 1..N$) – значения исходного разлагаемого ряда; $q+1$ – количество k_i -векторов, получаемых при разложении ряда; i – счетчик k_i -векторов; j – счетчик по элементам соответствующего k_i -вектора; n – количество элементов в k_i -векторе ($n = 2^{q-i}$); длина $k_0=1$, $a_{1,j}^i$, $a_{2,j}^i$ – промежуточные вычислительные коэффициенты (массив из двух строк по n элементов каждая) для вычисления k_i -вектора.

Как видно из формул прямого хода метода k -разложений, на первом шаге за массив элементов a^1 принимается исходный ряд, разлагаемый на k -элементы, дополненный нулями до количества элементов равного 2^q , где 2^q – ближайшее число, представляющее собой двойку в какой-либо степени. Для годового графика – 512, при этом $q = 9$.

– **обратный ход:**

$$\left. \begin{aligned}
x_m &= k_0 + \sum_{i=1}^q k_{i,j}, \quad \text{если } (m-1 + 2^{q-i}) \operatorname{div} 2^{q-i} - \text{нечетное}, \\
x_m &= k_0 + \sum_{i=1}^q -k_{i,j}, \quad \text{если } (m-1 + 2^{q-i}) \operatorname{div} 2^{q-i} - \text{четное},
\end{aligned} \right\}$$

где $j = (m-1 + 2^{q-i}) \bmod 2^{q-i}$.

При использовании k -разложения для какого-либо графика компонента k_0 при восстановлении обязательна, так как она определяет “уровень” значений воссоздаваемого графика. Недостатком метода k -разложений является большое количество вычислений для разложения, а затем восстановления данных, а также необходимость увеличения размера исходного массива до 2^q элементов.

Все три рассмотренные метода разложения-восстановления имеют следующие общие черты:

а) имеют прямой и обратный ход, причем в случае прямого хода находятся коэффициенты соответствующего разложения, при обратном – происходит восстановление исходного графика;

б) после нахождения коэффициентов разложения они сортируются в порядке возрастания, так как нами считается, что чем больше коэффициент, тем больший вес он имеет при восстановлении графика.

Необходимо отметить, что при воссоздании графика по всем коэффициентам разложения происходит полное безошибочное восстановление, а в случае использования коэффициентов разложения выборочно в восстановлении появляется среднеквадратическая ошибка:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x}_i)^2}{n}},$$

где δ – среднеквадратическая ошибка; x_i – реальное i -е значение графика потребления электроэнергии; $\tilde{x}_i$ – восстановленное i -е значение; n – количество точек на графике (для годового – 365 точек).

Критерием эффективности применения того или иного метода разложения, а затем восстановления графика служит степень малости δ , а также скорость убывания величины δ при увеличении числа не отбрасываемых компонент. На рис. 1 и в таблице представлены результаты восстановления годового графика суточного потребления электрической энергии при количестве коэффициентов восстановления от одного до пяти.

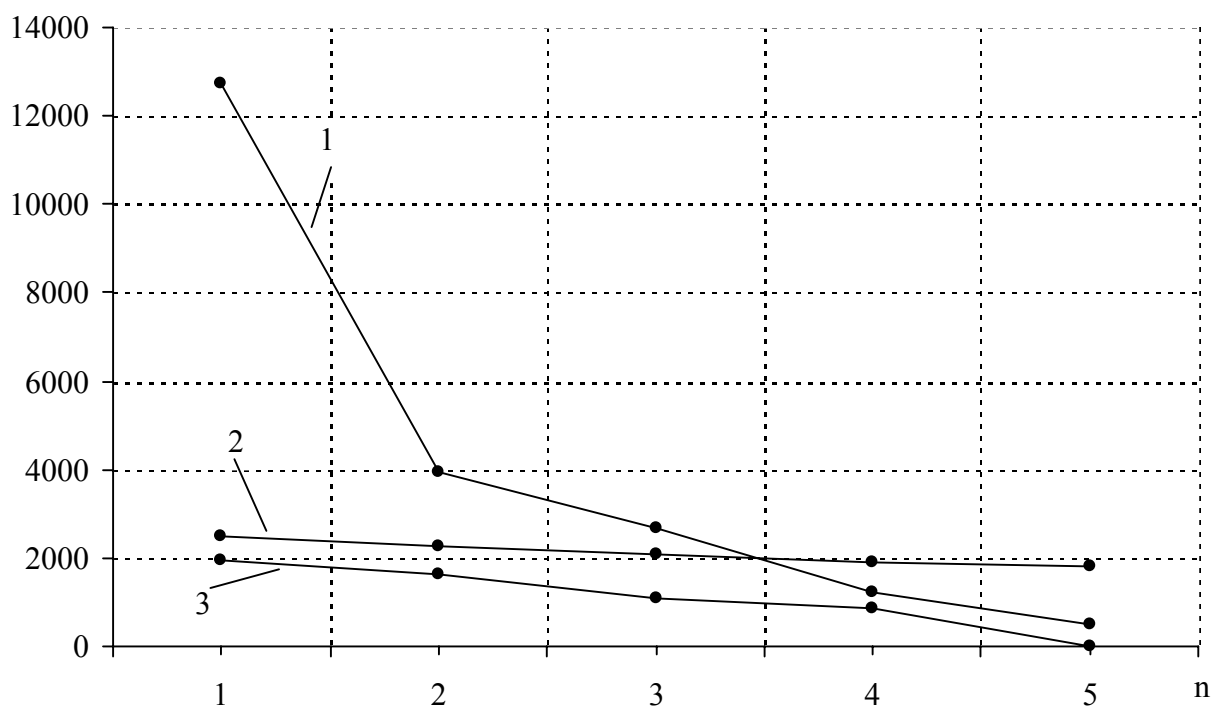


Рис.1. Зависимость величины среднеквадратического отклонения от количества используемых в восстановлении компонент: 1 – метод k -разложений; 2 – разложение в ряд Фурье; 3 – метод главных компонент

Анализ методов разложения

Метод	Количество компонент				
	1	2	3	4	5
1 – k -разложения	12735,32 (35,29%)	3948,23 (10,94%)	2667,42 (7,39%)	1228,11 (3,40%)	489,56 (1,36%)
2 – разложение в ряд Фурье	2478,75 (6,87%)	2263,99 (6,27%)	2078,66 (5,76%)	1925,26 (5,33%)	1804,24 (5%)
3 – метод главных компонент	1965,01 (5,45%)	1639,72 (4,54%)	1089,72 (3,02%)	853,23 (2,36%)	0 (0%)

Как показывает рис. 1 и результаты, представленные в таблице, из трех анализируемых методов, наилучший результат при любом количестве учитываемых компонент (n) дает метод главных компонент, причем при $n=5$ удается получить 100% точность восстановления графика. Метод k -разложений уступает в точности двум другим методам при $n=1...3$, при увеличении n ($n=4$ и $n=5$) этот метод по точности приближения превосходит метод разложения в ряд Фурье. Как показывает график 2 на рис. 1 среднеквадратическое отклонение при разложении в ряд Фурье при $n=1...5$ мало изменяется (от 6,87 до 5%). Это позволяет сделать вывод о том, что для восстановления разлагаемого графика с приемлемой точностью при разложении в ряд Фурье необходимо использовать гораздо более количество коэффициентов чем пять, что приводит к дополнительным вычислениям.

Литература

1. Надтока И.И., Седов А.В. Адаптивные модели прогнозирования нестационарных временных рядов электропотребления. – Изв. вузов: Электромеханика, 1994. – № 1-2, С. 57-64.
2. Гурский С.К. Адаптивное прогнозирование временных рядов в электроэнергетике. Минск: Наука и техника, 1983. – 271 с.
3. Михайлов В.И., Тарнижевский М.В., Тимченко В.Ф. Режимы коммунально-бытового электропотребления. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 288 с.
4. Каждан А.Э., Каждан Э.М. Метод расчета электрических нагрузок с применением кратчайших функций / Проектирование и эксплуатация систем промышленных предприятий: Материалы науч.-техн. конф., М.: Знание, 1984. – С. 33-37.
5. Надтока И.И., Сухомлинова О.А. Прогноз электропотребления энергосистемы с учетом сезонности и среднесуточной температуры воздуха // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 18 января 2002 г.: В 3 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: НПО «ТЕМП», 2002. – Ч. 1. – С. 45-49.
6. Надтока И.И., Сухомлинова О.А. Моделирование трендов электропотребления и классификация суточных графиков нагрузки энергосистемы // Современные энергетические системы и комплексы и управление ими: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 7 марта – 26 апреля 2002 г.: В 3 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: НПО «ТЕМП», 2002. – Ч. 3. – С. 5-9.

ВЫДЕЛЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МЕТОДОМ «РАЗОЦ» ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ОБЪЕМЕ ДАННЫХ

В.И. Марчук, А.А. Тартанов, Н.В. Гребенькова

Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса г. Шахты

Рассматриваются вопросы выделения гармонических составляющих при использовании метода «РАЗОЦ». Приводятся результаты имитационного моделирования, позволяющие оценить точность выделения оценки функции тренда при ограниченном объеме априорной информации.

Анализ макроэкономических эмпирических данных почти всегда сталкивается с проблемой наличия нестационарных рядов или рядов имеющих тренд. Примером таких рядов являются доход, потребление, спрос на денежную массу, уровень цен, торговые потоки и биржевые показатели. Рассмотрение реальных ситуаций позволяет прийти к выводу, что типичные временные ряды могут быть представлены как декомпозиция из четырех составляющих [1]:

$$X_t = f(S_t, T_t, C_t, R_t),$$

где S_t – эффект сезонности; T_t – тренд, или систематическое движение; C_t – колебания относительно тренда с большей или меньшей регулярностью (циклическость); R_t – случайная (несистематическая) остаточная компонента.

При обработке результатов данных, представленных единственной реализацией, обычно исходят из наличия априорной информации о монотонной функции тренда, случайной составляющей, имеющей нормальный закон распределения, циклической составляющей с известной частотой и наличия. Таким образом, при достаточно большом объеме априорной информации целесообразно использовать методы сглаживания (фильтрации), которые «работают» с единственной реализацией, такие как: метод скользящего среднего, медианное сглаживание, экспоненциальное сглаживание, методы спектрального анализа, методы вейвлет-анализа (wavelet analysis). Известен такой способ размножения выборок, как бутстреп (bootstrap).

Если функция тренда отличается от монотонной, т.е. является достаточно сложной и априорно неизвестна, как и закон распределения шумовой составляющей, то эффективность известных методов обработки существенно снижается и в ряде случаев полученные результаты далеки от истинных.

В работе [2] для выделения тренда при ограниченном объеме априорной информации описывается новый метод «РАЗОЦ». Приведенные исследования показали, что данный метод при ограниченном объеме априорной информации позволяет с высокой эффективностью обрабатывать временные ряды длительностью более 10 значений. Однако в работе [2] при проведении имитационного моделирования сезонная составляющая не учитывалась.

В данной работе рассматривалась более общая модель, учитывающая как наличие монотонной составляющей (тренда), так и наличие сезон-

ной составляющей (гармоническое колебание с априорно неизвестной частотой) и шумовой, закон распределения которой априорно неизвестен. На рис. 1 приведена исходная реализация, которая подлежит обработке методом «РАЗОЦ». На рис. 2 представлены результаты, полученные после обработки методом «РАЗОЦ».

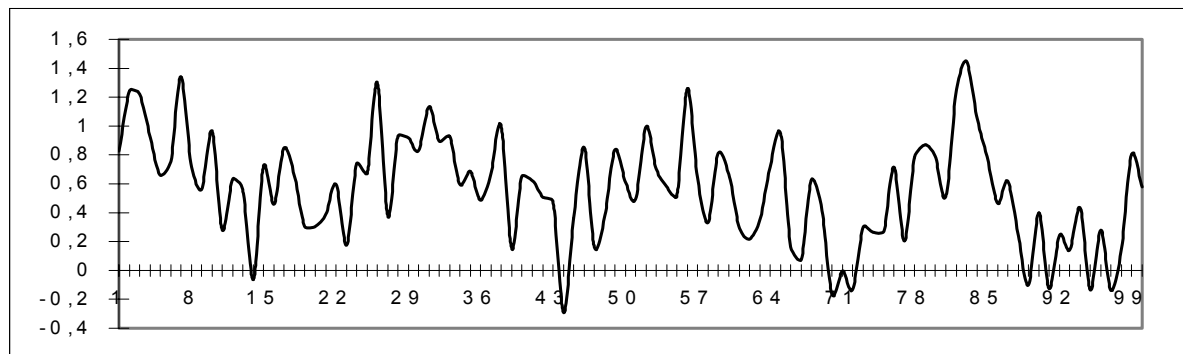


Рис.1. Исходная реализация временного ряда

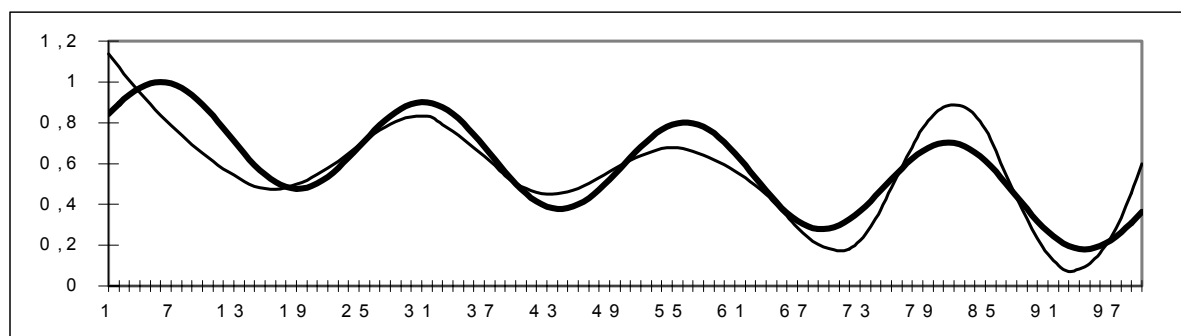


Рис.2. Результаты выделения тренда и сезонной составляющей

Анализ полученных результатов показывает, что определение частоты гармонической составляющей не представляет сложности, так как полученная оценка гармонической составляющей имеет тот же период, что и исходная модель (тонкая линия – оценка, толстая – модель).

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующий вывод: при ограниченном объеме априорной информации метод «РАЗОЦ» можно рекомендовать для обработки временных рядов, содержащих кроме монотонной функции тренда и сезонную (гармоническую составляющую).

Литература

1. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов: пер с англ. – М.: Мир, 1976. – 760 с.
2. Марчук В.И. Новый подход к анализу результатов измерений. В кн.: Новые технологии управления движением технических объектов: Материалы III Междунар. науч.-техн. конф. – Ростов-на-Дону: Изд-во. СКНЦ ВШ, 2000. – 147 с. (129-132 с.).

346500, г. Шахты, Ростовской области, ул. Шевченко, 147, ЮРГУЭС, каф. РТ,
т. 2-04-33 (аб. 2-81), e-mail: marchuk@sssu.ru.

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ

Т.В. Казаченко, М.В. Игнатьев

Новочеркасская государственная мелиоративная академия

Описывается ускоренный гидрометрический способ определения расходов воды в открытых каналах систем водоснабжения.

Повышение уровня эксплуатации систем водоснабжения требует дальнейшего совершенствования методов, способов и технических средств для оперативного водоучета. В настоящее время системы водоснабжения недостаточно оснащены средствами и приборами для оперативного измерения расходов. На Северном Кавказе оснащенность систем измерительными устройствами составляет в среднем 25%, а 75% измерений производится по водомерной рейке $Q = f(z)$, многоточечными способами и градуированными сооружениями. Применяемые многоточечные гидрометрические способы являются точными. Но они не оперативные, трудоемкие и требуют больших затрат времени на измерение одного расхода. При измерении расхода по водомерной рейке однозначность функции $Q = f(z)$ при подпорах или спадах уровней воды, вызванных регулируемыми сетевыми сооружениями, а также при заилении и зарастании русла канала нарушается, что приводит к увеличению погрешности до 10% и более.

На основании полевых наблюдений, проводимых на системах водоснабжения Ставропольского края, был разработан способ ускоренных измерений расходов [1]. Изучение ускоренных способов измерения Q базируется на закономерностях распределения скоростей в живом сечении гидрострова. Известно, что движение воды в открытых каналах – турбулентное, состоящее из вихрей и вторичных течений, которые периодически возникают и распадаются. Основной особенностью турбулентного движения является пульсация скоростей. Скорость в данной точке потока и в данный момент времени является мгновенным переменным вектором $\vec{U}_{\text{мг}}$. Амплитуда колебаний местной мгновенной скорости во времени (пульсации) характеризуется среднеквадратическим отклонением σ_u местных мгновенных скоростей $\vec{U}_{\text{мг}}$ от осредненной во времени местной скорости U . Интенсивность турбулентности оценивается отношением σ_u / U .

Осредненная местная скорость в точке живого сечения за период осреднения T равна $U = \frac{1}{T} \int_T U_{\text{мг}} dt$.

Распределение осредненных скоростей по вертикали, ширине потока и в живом сечении зависит от турбулентного объема, который увеличивается с возрастанием скорости, размеров канала и шероховатости русла. Полное представление о распределении скоростей в живом сечении потока

характеризуют линии равных осредненных местных скоростей изотакхи (рис. 1).

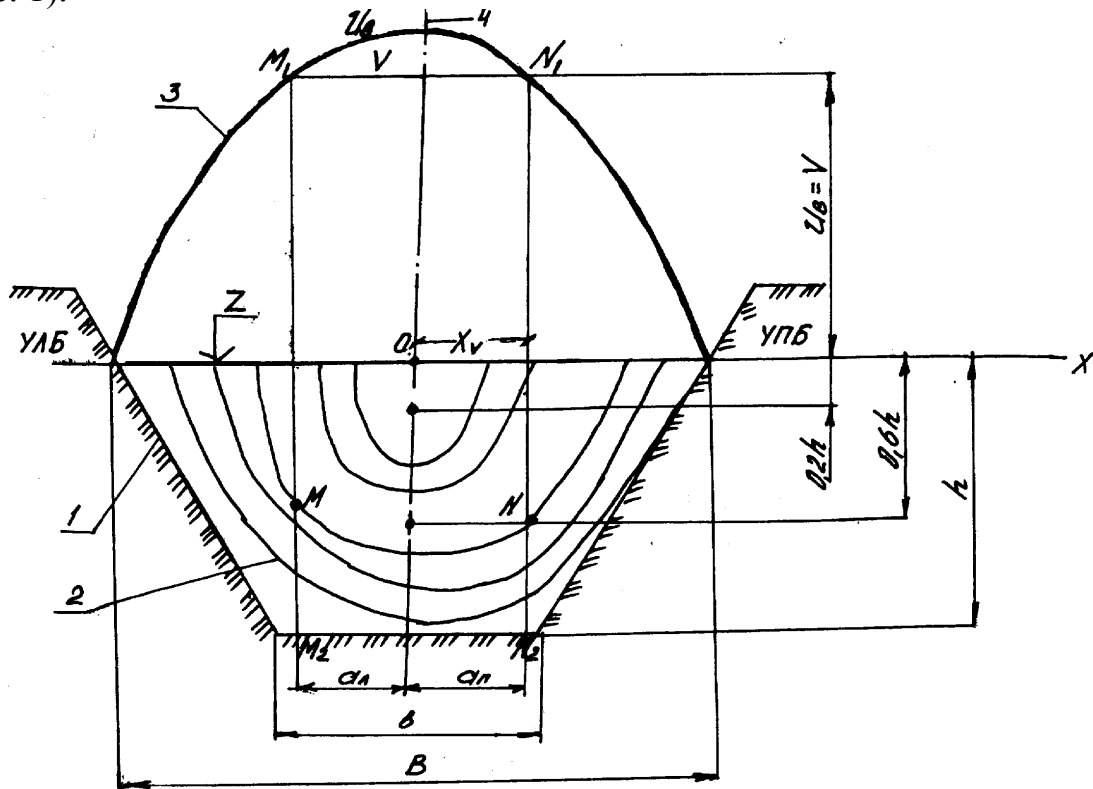


Рис.1. Эпюра средних скоростей на вертикалях по ширине гидроствора канала: 1 – профиль гидроствора; 2 – ось гидроствора; M, N и M_1M_2, N_1N_2 – вертикали и точки со средней скоростью потока; 3 – эпюра средних скоростей на вертикалях

Для ускоренного определения расхода воды необходимо знать положение в живом сечении потока представительных вертикалей или представительных точек на этих вертикалях со средней скоростью потока.

Исходя из практики определения расходов воды в оросительных каналах симметричного трапецеидального профиля гидрометрическими способами и обработки полученных данных на ЭВМ, предлагается выражать распределение средних скоростей U_B по ширине канала квадратичной функцией

$$\frac{U_B}{U_{B,\max}} = 1 - \left(\frac{X}{0,5B} \right)^2, \quad (1)$$

где X и U_B – текущие координаты, м и м/с; $B = b + 2mh$ – ширина потока, м; b – ширина канала по дну, м; m – коэффициент заложения откосов.

При $U_B = V$, $X = X_v$ – расстояние от оси гидроствора до представительной вертикали

$$X_v = 0,5B \sqrt{1 - \frac{V}{U_{B,\max}}}, \quad (2)$$

где $V = C\sqrt{RI}$ – средняя скорость потока, м/с; $U_{B,\max} = C_B\sqrt{h_g I_g}$ – средняя скорость на осевой вертикали, м/с; I и I_B – уклоны водной поверхности по-

тока и на участке вертикали; $C = R^{1/6} / n$ и $C = h_g^{1/6} / n_g$ – коэффициенты Шези ($\text{м}^{0,5}/\text{с}$) потока и на участке вертикали по формуле Маннинга; n и n_B – коэффициенты шероховатости канала и на участке вертикали; h_B и R – глубина на вертикали и гидравлический радиус, м.

Подставляя в уравнение (2) значения V и $U_{B,\max}$ и допуская $I=I_B$, $h_B=h$, получим

$$X_{V,om} = K \frac{B}{b} \sqrt{1 - \frac{n_g}{n} \left(\frac{R}{h} \right)^{2/3}}, \quad (3)$$

где $X_{V,om} = X_V / 0,5b$; K – эмпирический коэффициент гидроствора, который определяется в процессе градуировочных работ.

Относительную глубину η точки N (м) со средней скоростью потока на представительной вертикали рекомендуется определять по таблице Г.В. Железнякова в зависимости от коэффициента Шези на вертикали C_B .

Таблица

Относительные глубины точек на вертикалях

$C_B = U_B / \sqrt{h_B I_B}$, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$	7	9	12	20	40	70	100
$\eta = h_N / h_B$	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62

Наблюдения, проводимые на системах водоснабжения Северного Кавказа, показали, что в пределах изменения уровней и расходов положение каждой представительной вертикали устойчиво. При асимметрии представительных вертикалей ($A_S \geq 0,05$) измерения расходов рекомендуется производить по двум представительным вертикалям или по двум представительным точкам, расположенным на этих вертикалях, при $A_S < 0,05$ по одной вертикали или точке, расположенной на этой вертикали.

Предлагаемый ускоренный гидрометрический способ определения расходов воды в открытых каналах систем водоснабжения не требует сложного дорогостоящего оборудования гидропоста, обладает надёжностью, оперативностью и достаточной для практики водоучета точностью. Средние погрешности измерения расходов в каналах гидрометрическими способами характеризуются следующими данными:

- детальный гидрометрический способ – 2 – 3%;
- основной гидрометрический способ – 3 – 5%;
- одноточечный способ в точке $0,6h$ на осевой вертикали гидроствора – 4,1%;
- по двум представленным вертикалям 4,0%;
- по водомерной рейке – 10%.

Литература

1. Казаченко Т.В. Ускоренные гидрометрические способы определения расходов воды на открытых оросительных системах. // Дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск: НГМА, 2001. – 188 с.

ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

С.В. Захаров, С.О. Версилов

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Описан подход к управлению качеством полезного ископаемого посредством особой организации выемки руды, позволяющей контролировать ее качество по объему добычи.

Одна из основных проблем при управлении качеством сырья на горных предприятиях, эксплуатирующих месторождения руд цветных металлов, – определение разубоживания полезных компонентов в добываемой горной массе пустыми породами. Для эффективной работы горнодобывающих комбинатов необходимо применять организационно-технические мероприятия, обеспечивающие стабильное содержание в руде полезных компонентов при сохранении нормативных показателей потерь и разубоживания.

Известно, что благодаря применению мероприятий по усреднению качества руд значительно повышается извлечение металла в концентрат на обогатительной фабрике и его содержание в концентрате. Опыт работы горноперерабатывающих предприятий показывает, что применение усреднительных мероприятий позволяет повысить извлечение металлов при обогащении медно-порфировых руд на 10-15 %, медно-молибденовых на 2-5 %, свинцовых на 5-10 %, оловянных на 5-12 %. При этом одновременно улучшается и качество концентратов. Например, для условий ЗАО «Урупский горнообогатительный комбинат» (Северный Кавказ, Карачаево-Черкесская республика) установлен коэффициент увеличения извлекаемой ценности рудной массы после проведения организационных мероприятий по усреднению качества добываемой руды, который определяется из выражения:

$$K = 1 + 0,01(C_1 - C_2), \quad (1)$$

где C_1 – извлекаемая ценность руды после проведения мероприятий по усреднению вещественного состава полезных компонентов, %; C_2 – извлекаемая ценность руды при базовой технологии, %.

Для применения мероприятий, стабилизирующих качество полезного ископаемого, например, для формирования усреднительных складов, необходимо контролировать содержание полезных компонентов в добываемой руде.

Однако практически на предприятия, разрабатывающих месторождения руд цветных металлов, содержание металлов в добываемой руде определяют только на обогатительных фабриках при взятии экспресс-анализов для управления процессом обогащения (обычно пробу для анализа берут на сливе пульпы у классификатора. Это связано со сложностью

процедуры определения качества руд цветных металлов на руднике). На полиметаллических месторождениях для определения допустимого уровня разубоживания полезного ископаемого пустыми породами необходима процедура взятия проб и проведения анализа. Если при отработке месторождений железных руд определить содержание полезного компонента можно непосредственно в забое с помощью приборов для проведения экспресс-анализа типа РИМВ-1, БРА-6, КМВ-3 и др., принцип действия которых основан на использовании магнитных свойств железных руд, то процедура определения содержания компонентов руд цветных металлов более длительная, и следовательно, менее надежная.

Значительно проще определять разубоживание добываемой товарной руды, зная объем и вес применяющихся откаточных сосудов (вагонеток). Предлагаемое выражение для определения разубоживания выдаваемой из очистных блоков руды выглядит следующим образом:

$$P = \frac{(Q_g - V_g \rho_1)}{(\rho_2 - \rho_1) Q_g} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где P – разубоживание, %; ρ_1 – объемный вес руды, т/м³; ρ_2 – объемный вес вмещающих пород, т/м³; Q_g – вес горной массы в вагонетке, т; V_g – объем вагонетки, м³.

Объемный вес руды и вмещающих пород достаточно точно определяется геологической службой рудника или горнообогадательного комбината. Эти показатели содержатся в паспортах выемочных единиц.

Для определения веса вагонеток предприятию необходимо приобрести и установить у опрокидывателя вагонеток весы. Такие весы в рудничном исполнении в настоящее время изготавливают заводы горношахтного оборудования в России и в странах бывших союзных республик. Определив вес горной массы в вагонетке (показания весов за вычетом веса вагонетки) и зная объемный вес руды и вмещающих пород (из паспорта очистного блока или очистной панели), несложно рассчитать разубоживание добываемой руды согласно зависимости (2).

Например, отрабатывается рудный участок медноколчеданного месторождения. Объемный вес руды – 4,7 т/м³, вмещающих пород – 2,6 т/м³. От очистного блока к рудоспуску горная масса доставляется в вагонетках типа ВГ-2,2 емкостью 2,2 м³. Вес горной массы в вагонетке – 8,5 т.

Подставляя значения параметров в формулу (2), получим:

$$P = \frac{(8,5\text{т} - 2,2\text{м}^3 \cdot 4,7 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}) \cdot 2,6}{(2,6 - 4,7) \cdot 8,5} \cdot 100\% = 26,8\%.$$

Таким образом, разубоживание руды пустой породой, доставляемой вагонеткой к руднику, составило 26,8 %.

Если всего было задействовано n вагонеток, то разубоживание руды определяется из выражения:

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{(Q_{gi} - V_g \rho_1) \rho_2}{(\rho_2 - \rho_1) Q_{gi}} \bigg/ n,$$

где Q_{gi} – вес горной массы в i -й вагонетке.

Зная разубоживание, можно определить извлекаемую ценность добываемой руды – стоимость металла в единице горной массы. Если в руде один полезный компонент, то извлекаемая ценность C рудной массы определяется из выражения:

$$C = 0,01(1 - P)\alpha\varepsilon C,$$

где C – извлекаемая ценность добываемой руды, руб.; α – содержание в руде полезного компонента, %; ε – извлечение металла в концентрат, доли ед.; C – стоимость металла в концентрате, руб.

Зная извлекаемую ценность полезного ископаемого, можно оценить эффективность работы горного предприятия, например, на основании критерия «дисконтированная прибыль»:

$$\Pi_p = \sum_{t=1}^{t_p} A_t (C_t - C_t) \frac{1}{(1 + E)^{t_p - 1}},$$

где A_t – производственная мощность предприятия в t -й год, т/год; t_p – расчетный период применения технологического варианта; E – коэффициент дисконтирования затрат и прибыли во времени.

Контроль качества полезного ископаемого по задаваемым объемам добычи позволит более точно получать необходимое содержание полезных компонентов в добываемой горной массе, повысить тем самым извлекаемую ценность и, соответственно, увеличить прибыль предприятия.

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

С.С. Карпенко

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Рассмотрено применение генетических алгоритмов при поиске оптимальной конфигурации локальной вычислительной сети.

Генетические алгоритмы (ГА) являются одними из эволюционных алгоритмов, применяемых для поиска глобального экстремума функции многих переменных. Направление, в котором возможно наиболее эффективное приложение генетических алгоритмов, – это оптимизация многопараметрических функций [1]. Многие реальные задачи могут быть сформулированы как поиск оптимального значения, где значение – сложная функция, зависящая от входных параметров. В некоторых случаях, представляет интерес найти те значения входных параметров, при которых достигается оптимальное значение функции. Одной из задач при генерации проекта

локальной вычислительной сети (ЛВС) является определение оптимальной конфигурации аппаратного и программного комплекса. Определение и подробное описание наиболее значимых характеристик сети является одной из главных задач при создании генетической модели локальной сети.

Одной из составляющих аппаратного комплекса ЛВС можно отнести класс устройств, называемый коммутаторами, которые имеют несколько процессорных модулей, обеспечивающих обмен данными между портами по алгоритму моста и некоторыми дополнительными функциями, необходимыми при построении надежных и гибких сетей. Для того чтобы создать генетическую модель коммутатора, нужно определить критерии, которые бы полностью описывали его работу в рамках локальной сети. Чем точнее будет проведено описание, тем генетическая модель будет более соответствовать физической реализации устройства и тем точнее будут результаты моделирования общей локальной сети. В качестве характеристик коммутаторов можно использовать следующие параметры: общая пропускная способность, производительность, количество портов, скорость передачи между портами, электрические характеристики, регламентированные стандарты, фирма-производитель, стоимость за единицу. Каждая из характеристик представляет собой некоторую последовательность значений, точность описания и ширина диапазона значений которой в последствии может влиять на выбор оптимального решения при проектировании локальной вычислительной сети. Таким образом, можно составить генетическую модель каждой из характеристик коммутатора.

После детального описания сети с помощью генетических алгоритмов можно изменять определяющие характеристики сети, определять их вес, влияние на критерии отбора и находить наиболее оптимальные решения.

Литература

1. Батищев Д. И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач. Учеб. пособие / Под ред. Я.Е. Львовича. – Воронеж, 1995.

346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147, ЮРГУЭС, ИТЦ, 86362-2-45-95,
e-mail: serg@sssu.ru.

УДК 621.86

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ И ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ НАМОТОЧНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

В.И. Маринин, Д.Н. Князев

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассматривается задача расчета максимально производительных траекторий и законов движения рабочих органов намоточных станков с ЧПУ.

Известно, что заданная линия укладки (ЛУ) на поверхности оболочки может быть реализована при движении раскладчика намоточного

станка (НС) в поверхности касательных к точкам ЛУ [1]. При этом точка схода нити (ТСН) с раскладчика может быть задана следующим образом:

$$\mathbf{R}(s) = \mathbf{r}(s) + \lambda(s)\boldsymbol{\tau}(s),$$

где $\mathbf{R}(s)$ – радиус-вектор ТСН, s – натуральный параметр ЛУ, $\mathbf{r}(s)$ – ЛУ, $\lambda(s)$ – участок свободной нити, $\boldsymbol{\tau}(s)$ – орт касательной к ЛУ.

Из этого уравнения видно, что тем или иным образом задаваемый закон изменения $\lambda(s)$ однозначно определяет пространственную траекторию $\mathbf{R}$ источника нити (траекторию ТСН).

С другой стороны, заданное положение ТСН в пространстве обеспечивается соответствующими значениями координат рабочих органов НС, т.е.

$$\mathbf{r}(s) + \lambda(s)\boldsymbol{\tau}(s) = \mathbf{Y}(q_1, q_2, \dots, q_r),$$

где r – число рабочих органов, $q_1, q_2, \dots, q_r$ – обобщенные координаты станка.

Для определения закона $\lambda(s)$, а также траекторий и законов движения рабочих органов НС, поставим следующую вариационную задачу.

Необходимо переместить головку раскладчика НС из начального состояния в конечное за минимальное время, не нарушая следующих ограничений:

а) условие натяженного состояния нити:

$$\left| \frac{d\mathbf{r}}{ds} \right| + \frac{d\lambda}{ds} \geq 0;$$

б) требование нахождения раскладчика в области допустимых положений:

$$f(Z, R) = 0;$$

в) условие цикличности:

$$\lambda(s_T) = \lambda(0);$$

г) условие отсутствия обратных вращений оправки:

$$\frac{dV}{ds} \geq 0;$$

д) условие ограниченности скоростей и ускорений рабочих органов, а также скорости и ускорения нити, сходящей с раскладчика НС:

$$\begin{aligned} |\dot{q}_p| &\leq v_{i\max}; \\ |\ddot{q}_p| &\leq a_{i\max}, \end{aligned}$$

где $p = 1, 2, \dots, r, r+1$, r – количество управляемых координат станка; q_{r+1} – длина сошедшей нити.

Условия а, б, в, г определяются технологией намотки, условие д – возможностями приводов НС. Очень важное значение имеет учет ускорения нити, сходящей с раскладчика НС. Связано это с тем, что этот параметр влияет на степень наноса связующего вещества и интенсивность про-

питки, а, значит, и на качество изделия. Необходимо, чтобы ускорение сходящей нити было минимальным.

Задача в такой постановке может быть решена методом дискретного динамического программирования. Рассматривается пространство

$(\mathbf{x}, s)$, каждая точка которого представляет собой тройку чисел $P = \begin{bmatrix} s \\ \lambda \\ \dot{s}^2 \end{bmatrix}$.

На пространство $(\mathbf{x}, s)$ накладывается сетка с шагами Δs , $\Delta \lambda$ и $\Delta(\dot{s}^2)$ по осям s , λ и $\dot{s}^2$ соответственно. Каждому узлу этой сетки $\mathbf{x}_i = \begin{bmatrix} \lambda_{il} \\ \dot{s}_{im}^2 \end{bmatrix}$

$(i = \overline{0, N}, l = \overline{1, w}, m = \overline{1, h})$ в результате решения задачи расчета координатных перемещений НС, ставится в соответствие вектор координат НС $\mathbf{q}_{li}$ размерностью $r+1$. При выполнении прямого прохода процедуры динамического программирования, время перемещения рабочих органов НС между соседними узлами находится по формуле [2]:

$$t_{i+1} - t_i = \int_{s_i}^{s_{i+1}} \frac{ds}{\sqrt{\dot{s}^2}} = \frac{s_{i+1} - s_i}{\sqrt{(\dot{s}_{i+1}^2 - \dot{s}_i^2)/2}}.$$

Тогда время движения от узла $\mathbf{x}_{i+1}$ к узлу $\mathbf{x}_0$ вычисляется по формуле Беллмана, имеющей для данной задачи следующий вид:

$$\tau_{i+1}(\dot{s}_{i+1}^2) = \min_{\dot{s}_i \in G_i} \left(\tau_i(\dot{s}_i^2) + \frac{s_{i+1} - s_i}{\sqrt{(\dot{s}_{i+1}^2 - \dot{s}_i^2)/2}} \right).$$

Таким образом, минимизация времени перехода раскладчика из начальной точки в конечную ведется выбором вектора $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \lambda \\ \dot{s}^2 \end{bmatrix}$.

Литература

1. Душенко А.Г., Моргун А.Н., Боляев В.И. Расчет технологических координат траектории движения укладчика // Системы управления технологическими процессами: Сб. ст. Новочеркасск: Изд. НПИ, 1975, Вып. 2.
2. Механика промышленных роботов: В 3 кн. / Кн. 1 Кинематика и динамика. – М.: Высшая школа, 1988. – 304 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ(НПИ),
каф. ПОВТиАС, т. 55-295.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Бут Ю.С., Бут О.Ю. Нелинейная оценка нарушений биохимического гомеостаза	4
Сысоев Ю.С., Филиппова И.Н., Симакова Н.А. Координатные методы определения базовой средней плоскости	8
Маркова Н.Н. Методы повышения точности измерения разности температур в печах и термокамерах	12
Баглейбтер О.И. Теория и методы измерения активной и реактивной мощности в несинусоидальных режимах	14
Тырсин А.Н. Обнаружение особых нерасчетных режимов работы турбомашин	22
Чернов А.В., Гоок С.Э., Левин А.И., Сиротин Д.В. Автоматизированная система технического диагностирования теплообменных аппаратов	26
Петров В.Л. Модифицирование многочленов Якоби для диагностики электромеханических систем	29
Матерн И.В. Определение требований к проектированию систем управления быстродействующими электромагнитными механизмами	33
Меркель И.Н. К обоснованию степени детализации модели	36
Фёдоров А.М. Интеграция ГИС и системы динамического моделирования для задач анализа, оценки и прогноза процессов	38
Надтока И.И., Мальцева А.А., Сухомлинова О.А. Сравнительный анализ методов выделения трендов в циклических временных рядах электропотребления	40
Марчук В.И., Тартанов А.А., Гребенькова Н.В. Выделение гармонической составляющей методом «РАЗОЦ» при ограниченном объеме данных	45
Казаченко Т.В., Игнатьев М.В. Эффективный способ определения расходов воды при водоснабжении	47
Захаров С.В., Версилов С.О. Подход к управлению качеством полезного ископаемого при эксплуатации месторождений руд цветных металлов	50
Карпенко С.С. Применение метода генетических алгоритмов при проектировании локальных вычислительных сетей	52
Маринин В.И., Князев Д.Н. Оптимизация траекторий и законов движения рабочих органов намоточных станков с ЧПУ	53

Научное издание

**Теория, методы и средства измерений,
контроля и диагностики**

**Материалы III Международной научно-практической конференции
Часть 3**

Редактор: А.С. Лобова
Компьютерная верстка: М.К. Аверьянова

ИД № 05240, 02.07.2001 г. Подписано в печать 10.10.2002 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 2,53. Тираж 100 экз. Заказ 47-718.

ООО Научно-производственное объединение «ТЕМП»
346430, г. Новочеркасск, сп. Ермака, 44.

Центр оперативной полиграфии
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

*Материалы
III Международной научно-практической
конференции*

Часть 4

*20 сентября 2002 года
г. Новочеркасск*

Новочеркасск 2002

УДК 681.518.54
ББК 30.82
Т 33

Организаторы конференции:

Министерство образования РФ;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
В.Н. Чернов (РФ), профессор

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора

Т 33 Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики:
Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск,
20 сентября 2002 г.: В 4 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). –
Новочеркасск: ООО НПО «ТЕМП», 2002. – Ч. 4. – 54 с.

ISBN 5-94633-021-7

Материалы конференции вошли в сборник из четырех частей. В четвертую часть вошли доклады, освещающие вопросы экономической диагностики производственных и социальных систем.

УДК 681.518.54

ISBN 5-94633-021-7

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2002
© Авторы, 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В сентябре 2002 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила III Международная научно-практическая конференция «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Орла, Ульяновска, Иркутска, Челябинска, Мурманской области, Омска, Златоуста, Тольятти, Владимира, Волгодонска, Новочеркасска, Шахт и Каменска.

На конференцию представлено 57 докладов, которые вошли в сборник, состоящий из четырех частей. Каждая часть содержит материалы по нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и контроля параметров магнитных, полупроводниковых и диэлектрических материалов; жидких многофазных сред; ультразвуковым методам и средствам измерений и контроля.

Во вторую часть вошли статьи о теории, методах и средствах измерений и контроля концентраций, химического и структурного состава веществ и материалов; сил, вибрации и геометрических размеров; теории, методах и средствах радиоизмерений; цифровых методах и средствах измерений и обработки измерительной информации.

Третья часть содержит доклады, посвященные теории, методам и средствам измерений и диагностики в медицине и биологии; вопросам метрологического обеспечения измерений, контроля и диагностики; теории, методам и средствам диагностики сложных технических систем; интеллектуальным средствам измерения; методам оценки состояния и перспектив развития предприятий, отраслей, комплексов.

В четвертую часть вошли доклады, освещающие вопросы экономической диагностики производственных и социальных систем.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

ДВА ПОДХОДА К АНАЛИЗУ ПРОБЛЕМ ЦЕНОБРАЗОВАНИЯ И ВЫБОРУ ЦЕНОВЫХ РЕШЕНИЙ

Б.Ю. Сербиновский

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Рассмотрены два подхода к анализу проблем ценообразования и ценового регулирования на основе понимания проблемы как некоторого отклонения от ранее установленного или устанавливаемого (желаемого) норматива и как неудовлетворенной, но осознанной потребности продавца (производителя) или покупателя.

Для свободной рыночной экономики выбор ценового решения – это всегда волевое решение руководителя предприятия, которое, однако, должно укладываться в некоторые рамки (ограничения). Эти решения в динамичной среде постоянно приводят к возникновению проблем ценообразования, которые по-разному воспринимаются и понимаются менеджерами.

Существует два принципиальных подхода к пониманию проблем ценообразования (как и любых других проблем):

- проблема в управлении воспринимается как отклонение от некоторого ранее заданного или вновь задаваемого норматива. Таким нормативом, например, может быть уровень рентабельности производства. Для многих предприятий, привыкших работать в условиях монополии или олигополии производителя, такой подход кажется наиболее приемлемым, т.к. позволяет использовать преимущества на рынке определенного товара или услуги. Российские монополисты, например, МПС, муниципальные предприятия и др., монопольно предоставляющие различные виды товаров и услуг, успешно и достаточно регулярно повышают на них цены и тарифы, обращая внимание на свои внутренние интересы, но забывая об интересах покупателей. Можно, конечно, говорить о том, что существует антимонопольное законодательство, но цены растут (да и речь не об этом);

- проблема понимается как неудовлетворенная потребность, которая уже в явной или неявной форме осознана хотя бы одним из субъектов отношений по поводу ценообразования. Неудовлетворенная потребность воспринимается людьми как проблема, которую следует разрешить, и в этом плане проблемы ценообразования для предприятия могут быть как внутренними, так и внешними. Здесь для пояснения такого подхода мы можем представить множество иллюстраций взаимодействия предприятия с внешней средой на острие проблем ценообразования (что и намечено сделать в развернутом докладе).

Например, в настоящее время несовершенство антимонопольного законодательства заставляет парламентариев Государственной Думы РФ разрабатывать новый закон о регулировании цен, направленный на сдерживание монополистического влияния ценовых решений на экономику России и уровень жизни населения. Это происходит именно потому, что

они воспринимают потребности потребителей, практически как собственные, и вынуждены защищать интересы множества экономических (хозяйствующих) субъектов и населения (своих избирателей), анализируя проблемы ценообразования с использованием второго подхода.

Нельзя говорить о том, какой из подходов «правильный», а какой «ошибочный». Оба подхода должны применяться в теории и практике ценообразовании, прежде всего потому, что несут разную информацию о проблеме. Если первый подход позволяет осуществлять оперативное регулирование и задавать стратегические ориентиры, то второй – направлен на анализ причинно-следственных связей, закономерностей и тенденций в макро-, мезо- и микроэкономической среде. Понимание проблемы ценообразования как неудовлетворенной потребности заставляет производителя (продавца) заняться поиском и изучением этой неудовлетворенной потребности, следовательно, помогает решать основную задачу производителя (торговца) в условиях конкуренции за покупателя – задачу наилучшего удовлетворения потребностей потребителя.

Последний подход необходим еще и потому, что позволяет, выделив потребности и спрогнозировав тенденции их изменения (например, тенденции изменения цен на товары и их качественные характеристики), заняться решением задачи повышения конкурентоспособности товара или услуги на основе достижения лучших показателей по параметру «цена качества продукции» или «цена удельного полезного эффекта у потребителя». Не трудно заметить, что в данном случае использование второго подхода предоставляет возможность создавать нормативную базу для первого, в том числе устанавливать как норматив соотношение цены и качества продукции, а также повышать эффективность использования производственных ресурсов, рассчитывая новые плановые нормы и нормативы расхода сырья, материалов, труда и т.д.

В заключение хочется отметить одно обстоятельство, почерпнутое из практики ценообразования. Предприятия (как промышленные, так и торговые) значительно реже используют второй подход (видимо, в силу его сложности) и строят свою ценовую политику «наугад». Поэтому целесообразно разрабатывать для конкретных предприятий и видов бизнеса (деятельности) специальные методы изучения и анализа проблем ценообразования и синтеза эффективных ценовых решений.

346500, г. Шахты, Ростовская обл., ул. Шевченко, 147, Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, факультет сервиса, кафедра организации производства, управления и маркетинга, декану факультета сервиса, заведующему кафедрой, д.э.н., профессору Сербиновскому Б.Ю. Т. (86362)20433 (добавочный 241, 287 или 286 – в университете собственная телефонная станция и вы можете позвонить на любой номер одного из подразделений университета и по добавочному номеру вас переключат на нужного вам абонента). E-mail: serbinovskiy@mail.ru.

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Е.Б. Колбачев

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Рассмотрены проблемы оценки экономического потенциала производственной системы как показателя ее состояния. Показано, что в качестве измерителя потенциала при реструктуризации предприятий целесообразно использовать величину стоимости бизнеса, осуществляемого в рамках производственной системы. Проанализированы особенности этого показателя.

В условиях переходной экономики актуальны вопросы обоснования управленческих решений, связанных с реструктуризацией предприятий, проведением мероприятий по аутсерсингу, оптимизации бизнес-процессов и т.д. Доказано, что наиболее эффективно такие задачи могут быть решены с использованием категории "производственная система" (ПС), понимаемой как совокупность элементов, обеспечивающих преобразование ресурсов производства в факторы производства с целью получения искусственных объектов, способных удовлетворять определенные потребности человека и общества [1].

При этом важна достоверная и точная оценка возможностей производственной системы в части вклада в экономический результат бизнеса, осуществляемого с ее использованием. Очевидно, что наиболее объективно такая оценка может быть сделана с помощью стоимостных параметров, а сама задача приобретает эконометрический характер. Такая ситуация вполне адекватна современной тенденции увеличения объективности экономических характеристик и роли информации в управлении производственными системами. В значительной мере этим обстоятельством объясняется повышенное внимание к эконометрическим методам, проявляющееся в последние годы [2,3].

При создании и модернизации ПС приходится решать задачи, в которых трудно ограничиться для выбора параметров одним критерием. Такого рода задачи возникают в процессе проектирования технических и технико-экономических систем весьма часто и считаются наиболее сложными. Тем не менее, на практике стараются избежать многокритериальных задач, сводя их к однокритериальным, используя для этого интегральные критерии.

В качестве основных критериев для оценки производственно-хозяйственной деятельности обычно выступают финансовые показатели, такие как рентабельность привлеченного капитала (ROCE - Return on Capital Employed), рентабельность активов (ROTA - Return on Total Assets), рентабельность продукции (CRR - Cost to Revenue rate) и другие традиционные для рыночной экономики показатели. Как правило, при использовании этих критериев не учитывается иерархичность ПС, имеющих место на предприятии. Кроме того, представляется несколько неполным набор по-

казателей, которые могут использоваться для оценки потенциальных возможностей ПС.

В связи с вышеизложенным для решения поставленной выше задачи оценки возможностей производственной системы в части вклада в экономический результат бизнеса, осуществляемого с ее использованием, целесообразно рассмотреть особенности определения потенциала ПС. В публикациях последних лет встречаются различные понятия экономического потенциала, его состава, сущности, соотношения с понятиями "производительные силы", "уровень экономического развития" и др. [4-7].

В книге [4] эта экономическая категория рассматривается более полно по сравнению с другими определениями. В этом случае экономический потенциал трактуется как "способность общества по созданию разнообразных видов материальных благ и оказываемых услуг, характеризующую той совокупностью экономических средств, источников и запасов или экономических возможностей, которыми располагает общество и которые могут быть использованы". Количественно оценивая уровень экономического потенциала, авторы этой работы исходят из сущности этого понятия как наличной "...совокупности трудовых и материальных ресурсов, обладающих способностью (возможностью) участвовать в интересах всего общества в создании оптимального объема материальных благ и услуг при данном развитии производительных сил и производственных отношений".

Тем не менее, на наш взгляд, наиболее рациональным является подход [5], в рамках которого экономический потенциал отдельной организации понимается как совокупность ресурсов экономического и социального характера доступных ей (понимаемых как возможности роста организации), а возможности развития человеческих ресурсов в организации рассматриваются как экономические.

Применительно к производственным системам вопросы оценки потенциала исследовались в трудах А.П. Ковалева [6], К.Т. Джурабаева [7]. На наш взгляд, наиболее последовательным является подход А.П. Ковалева. Согласно этому подходу важнейшей категорией является понятие функции, как способности объекта выполнять определенное действие. При этом разделяются функциональный, параметрический и ресурсный потенциалы, и на их основе оценивается интегральный показатель - полезностный потенциал.

Важным параметром, который характеризует любую ПС в рыночных условиях, и тем самым позволяет решить ряд вышеописанных и других проблем, связанных с оценкой ПС, является стоимость бизнеса, осуществляемого рассматриваемой ПС или с ее участием (как было показано в работах [1,8]).

Примечательно, что оценка бизнеса, как вид экономической работы, практически была неизвестна в России до начала девяностых годов. За последнее время благодаря трудам А.Г. Грязновой, М.А. Федотовой, В.В. Григорьева, А.П. Ковалева и др. [6,9,10] созданы методологические основы для практического использования этого вида оценки при решении различных

организационно-экономических задач. Среди отечественных хозяйственников формируется понимание того, что главной целью стратегического управления предприятием является увеличение его стоимости, а главным критерием эффективности управления является прирост этой стоимости.

При этом управление стоимостью должно рассматриваться как интегрирующий процесс, направленный на качественное улучшение стратегических и оперативных решений на всех уровнях управления ПС за счет концентрации общих усилий на важнейших факторах стоимости. Управление стоимостью - главный инструмент повышения эффективности, так как предлагает точные критерии оценки результатов - стоимость предприятия, отдельных бизнес-единиц и бизнес-процессов, на основе которых можно строить деятельность организации в целом.

Конечной целью управления стоимостью является увеличение стоимости предприятия в целом. Стоимость действующего предприятия - это стоимость сформировавшегося предприятия как единого целого, а не какой-либо его составной части. Стоимость отдельных активов или компонентов действующего предприятия определяется на основе их вклада в данный бизнес и рассматривается как их потребительная стоимость для конкретного предприятия и его владельца.

Как было показано в работах [6,9,1], для решения задач реструктуризации наиболее целесообразно определение стоимости бизнеса методом дисконтированных денежных потоков, основанное на предположении о том, что "...потенциальный инвестор не заплатит за данный бизнес сумму, большую, чем текущая стоимость будущих доходов от этого бизнеса. Собственник не продаст свой бизнес по цене ниже текущей стоимости прогнозируемых будущих доходов..." [9]. Очевидно, что в этом случае важная роль принадлежит достоверности прогнозной информации, позволяющей оценить перспективы бизнеса при имеющихся в распоряжении предприятия ресурсах.

В связи с этим представляется целесообразным использование разработанного в трудах Ю.Я.Еленевой [11] показателя фундаментальной стоимости предприятия, основанной на внутренней информации о его ПС.

Для наиболее успешного использования этого показателя при решении практических задач реструктуризации предприятий, на наш взгляд, необходимо установить соответствие между величиной и тенденцией изменения фундаментальной стоимости и этапом жизненного цикла, на котором находится рассматриваемая ПС. Инструментарий для качественного прогноза перспектив бизнеса на разных этапах жизненного цикла разработан достаточно подробно [8,12].

Таким образом, можно утверждать, что в настоящее время созданы основные элементы инструментария для диагностики ПС и разработки управленческих решений по их реструктуризации. Доработка этих элементов и формирование комплексной методики завершается в настоящее время на кафедре "Экономика и управление предприятием" ЮРГТУ(НПИ) в рамках выполнения работ по заказам ряда российских предприятий.

Литература

1. Колбачев Е.Б. Современные производственные системы и их ресурсы. - Новочеркасск: НОК, 2001.
2. Green W. H. Econometric Analysis, second edition. – Macmillan Publishing Company, 1993.
3. Мангус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. – М.: Дело, 1997.
4. Глазырин М.В. Управление социально-экономическим развитием. – Новосибирск: Наука, 1989.
5. Берлин С.И. Экономический потенциал территории. – СПб: ФЭУ, 2000.
6. Ковалев А.П. Стоимостный анализ. – М.: Станкин, 2000.
7. Джурабаев К.Т., Бурков О.В. Эффективность организационной структуры и структурных элементов потенциала современной организации. / В сб.: Организационные и экономические проблемы становления конкурентоспособного производства. – Воронеж.: Международная академия науки и практики организации производства, 1999.
8. Колбачев Е.Б. Преобразование производственных систем как средство сохранения статуса виолентов предприятиями отечественного электромашиностроения. // Изв. ВУЗов: Электромеханика, 2002. – №. 3.
9. Оценка бизнеса / Под ред. А.Г. Грязновой и М.А. Федотовой. – М.: Финансы и статистика, 1998.
10. Григорьев В.В. Оценка и переоценка основных фондов. – М.: Инфра-М, 1997.
11. Еленева Ю.Я. Обеспечение конкурентоспособности промышленных предприятий. – М.: Янус-К, 2001.
12. Туников В.А. Антикризисное управление машиностроительными предприятиями и некоторые проблемы промышленной политики // В сб.: Экономика производственных систем и бизнес-процессов. – Новочеркасск: Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, 2002.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-666, e-mail: linkp@novoch.ru.

УДК 622.001:519.86 (06)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

И.И. Надтока, О.А. Кравченко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Представлены принципы разработки моделей оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия на основе стохастической двухэтапной задачи с инерционно-стратегическими связями. Показан пример реализации модели применительно к оптимизации мощности источника питания шахты им. Чиха ОАО «Ростовуголь».

Оптимизация электроэнергетического комплекса угольной шахты в условиях недоиспользования мощностей технологического оборудования включает в себя выбор мощности трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП), как одного из наиболее дорогостоящих ее элементов. Разработка и реализация системы моделей оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия (ГПП) позволит повысить

эффективность использования электрооборудования, снизив затраты на добычу угля.

При разработке экономико-математических моделей оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия за основу были приняты экономико-математические модели оптимизации проектной мощности источника электроэнергии и определения оптимальных плановых резервных мощностей электроэнергетической системы, представленные в работах профессора В.А. Кардаша, показавшие свою эффективность при оптимизации систем в электроэнергетике, теплоснабжении, сельском хозяйстве [2, 5- 9, 11, 12].

Экономико-математическая модель оптимизации мощности трансформаторов ГПП угледобывающего предприятия (имеющая общую постановку двухэтапных задач с ИСТРА – связями [4]) и многофакторная стохастическая оптимизационная модель поставки электроэнергии подразделениям угольной шахты, учитывающие случайный характер технико-экономических и технологических характеристик функционирования шахты, тесно взаимосвязаны и представляют собой систему моделей, структура которой представлена на рис. 1

Моделирование функционирования угледобывающего предприятия включает целый ряд технических и экономических особенностей [10], которые были формализованы и учтены при разработке системы экономико-математических моделей оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия в виде следующих принципов:

- учет влияния факторов стохастического характера, определяющих функционирование подразделений и шахты в целом;
- моделирование величины используемой мощности и других технико-экономических характеристик должно осуществляться с учетом норм, определенных требованиями действующих Правил безопасности в угольных шахтах, Правил устройства электроустановок [3, 13-15].



Рис.1. Структурная схема системы моделей оптимизации мощности источника питания угольной шахты

Величина оптимальной мощности источника питания шахты P не должна быть менее расчетной мощности электропотребителей первой ка-

тегории P_I и не должна превышать проектную мощность P_{np} электроприемников шахты

$$P_I(\omega) < P < P_{np}, \quad (1)$$

где $P_I(\omega)$ – расчетная мощность электроприемников I категории; ω – вектор случайных величин множества случайных системных ситуаций Ω , $\omega \in \Omega$, Ω – конечномерное множество; P_{np} – проектная мощность электроприемников шахты, рис. 2.

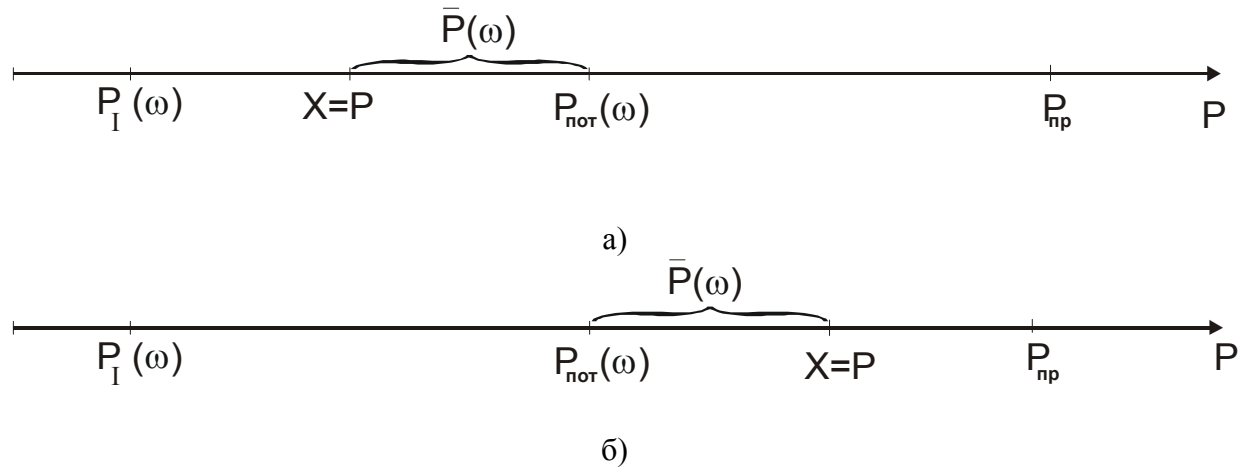


Рис.2. Варианты соотношения мощностей источника питания P и потребной мощности электроприемников шахты:

а) мощность источника питания P меньше потребной мощности

$$P_{пот}(\omega) (\overline{P(\omega)} - \text{недоподача});$$

б) мощность источника питания P больше потребной мощности

$$P_{пот}(\omega) (\overline{P(\omega)} - \text{резерв})$$

$P_{пот}(\omega)$ – потребная мощность электроприемников шахты;

Тогда должен выполняться баланс мощности

$$x = P_{пот}(\omega) + \overline{P(\omega)}. \quad (2)$$

Баланс мощности (2) в случае, представленном на рис. 2 (а), предусматривает отключение или частичное снижение мощности подразделений шахты на определенное время при $x < P_{пот}(\omega)$. Осуществить снижение величины используемой мощности позволяет регулирование режимов электропотребления, в процессе реализации которого происходит либо снижение мощности, либо полное отключение конкретного электроприемника и перенос времени его работы на другие часы суток [16].

Особенности применения ИСТРА – связей для задачи оптимизации источника питания угледобывающего предприятия заключаются в следующем.

Оптимизируемая величина, соответствующая величине активной мощности каждого из трансформаторов ГПП, x рассматривается как стратегическое решение.

Выбор режима электропотребления подразделениями, а следовательно, и функционирования технологических звеньев шахты, является тактическим решением в случайной ситуации ω , $\omega \in \Omega$. Тактическим переменным соответствуют $w_k(\omega)$ и $\overline{w_k(\omega)}$ – поставка электроэнергии по подразделениям в ситуации ω , кВт·ч, и недопоставка (резерв) электроэнергии в целом по шахте в ситуации ω , кВт·ч, соответственно.

$W(\omega) = \sum_{k=1}^n w_k(\omega)$ – поставка электроэнергии в целом по шахте в ситуации ω , кВт·ч; $\overline{W(\omega)} = \sum_{k=1}^n \overline{w_k(\omega)}$ – недопоставка (резерв) электроэнергии в целом по шахте в ситуации ω , кВт·ч.

Баланс мощностей (2) можно рассмотреть через параметры потребления электроэнергии подразделений:

$$x = \sum_{k=1}^n p_{\text{пот}k}(\omega) + \sum_{k=1}^n \overline{w_k(\omega)} / t_k(\omega); \quad (3)$$

где $t_k(\omega)$ – фактическое время работы k -го подразделения шахты, ч; $p_{\text{пот}k}(\omega)$ – потребная мощность k -го подразделения в ситуации ω , кВт;

$$P_{\text{пот}}(\omega) = \sum_{k=1}^n p_{\text{пот}k}(\omega).$$

При построении моделей исходя из специфики угледобывающего предприятия были приняты следующие допущения: производственные мощности предприятия в рассматриваемый период времени фиксированы и ограничены; согласно норм Правил устройства электроустановок ГПП оснащается двумя трансформаторами одинаковой мощности, коэффициент загрузки которых не должен превышать 0,5; базовый период времени принят соответствующим месяцу, так как учет данных об электропотреблении по подразделениям осуществляется ежемесячно.

Многофакторная стохастическая оптимизационная модель поставки электроэнергии подразделениям шахты используется дважды: первоначально – для оценки текущего состояния и функционирования системы электроснабжения, а после оптимизации – для определения оптимальных параметров электропотребления и мощности подразделений для управления режимами электропотребления.

Экономико-математическая модель оптимизации мощности трансформаторов главной понизительной подстанции имеет следующий вид:

целевая функция

$$\begin{aligned} \min_x \{ & k_0 k_1 x + \min_{\{w(\omega), \overline{w(\omega)}\}} M[W(\omega)(c(\omega) + z(\omega)c(\omega) + \\ & + q(\omega)) + Y \sum_{k=1}^n \overline{w_k(\omega)} G_k L(\omega) D(\omega) / t_{\text{лав}}(\omega)] \} \end{aligned} \quad (4)$$

ограничения:

$$1) k^t k_1 x \leq K^t, \quad t = \overline{1, \tau}; \quad (5)$$

$$2) x - \overline{W}(\omega) / T = P_{\text{ПОТ}}(\omega), \quad \omega \in \Omega; \quad (6)$$

$$3) q(\omega) W(\omega) \leq Q, \quad \omega \in \Omega; \quad (7)$$

$$4) w_k(\omega) + \overline{w_k}(\omega) = w_{\text{ПОТ}_k}(\omega), \quad k = \overline{1, n}, \quad \omega \in \Omega; \quad (8)$$

$$5) W(\omega) > 0, \quad x > P_1(\omega), \quad \omega \in \Omega. \quad (9)$$

Данная модель включает стохастическую двухэтапную линейную задачу оптимизации мощности трансформаторов ГПП с конечным пространством состояний Ω .

Содержательно целевая функция представляет собой минимизацию суммарных затрат на строительство и эксплуатацию ГПП, покупку электроэнергии, затрат от ее потерь на ГПП и от ущербов вследствие недопоставки электроэнергии.

Ограничение 1) выражает требование, чтобы инвестиции в реализацию проекта не превышали лимитов инвестиционных средств.

Ограничение 2) отражает наличие инерционно – стратегических связей – балансы мощностей в СЭС в каждой из возможных системных ситуаций, т.е. ограничение 2) связывает стратегические и тактические переменные. Содержательно это условие означает, что сумма величин потребной мощности и недоподачи (резерва) мощности подстанции в ситуации ω соответствует оптимальной мощности каждого из трансформаторов ГПП.

Стохастические ограничения: ограничение 3) – балансы денежных средств по текущим эксплуатационным затратам на функционирование ГПП; ограничение 4) – балансы электроэнергии у каждого из подразделений; ограничение 5) – условие неотрицательности переменных.

В модели (4) – (9) используются следующие обозначения:

M – символ математического ожидания по системным ситуациям ω .

Идентификационные индексы: $k = \overline{1, n}$ – индекс подразделения; $t = \overline{1, \tau}$ – индекс периода капвложений.

Коэффициенты целевой функции:

k_0 – приведенные единовременные затраты в расчете на 1 кВт мощности на стадии t реализации проекта, руб. /кВт;

$k_1 = k_\phi \sqrt{(1 + \text{tg}^2 \varphi)}$ – коэффициент, переводящий величину активной мощности трансформатора к полной мощности;

k_ϕ – коэффициент формы суточного графика нагрузки в режимный день;

$\text{tg} \varphi$ – значение средневзвешенного тангенса в целом по шахте;

$c(\omega)$ – стоимость электроэнергии в ситуации ω , руб./кВт·ч;

$L(\omega)$ – цена угля в ситуации ω , руб./т.;

$D(\omega)$ – объем добычи по шахте в ситуации ω , т./мес.;

$z(\omega)$ – доля потерь электроэнергии в трансформаторе в расчете на единицу поданной электроэнергии в рассматриваемый период в ситуации ω ;

$q(\omega)$ – удельные эксплуатационные затраты на подачу единицы электроэнергии в расчете на 1 кВт·ч в рассматриваемый период в ситуации ω , руб./кВт·ч;

$t_{\text{лав}}(\omega)$ – время работы лав в месяце в ситуации ω , ч.;

G_k – оператор, характеризующий взаимосвязь работы подразделения с работой очистных забоев.

Другие обозначения:

$w_{\text{ПОТ}k}(\omega)$ – потребность k -го подразделения в электроэнергии в ситуации ω , кВт·ч;

K^t – лимит инвестиций, выделяемых на реализацию проекта создания ГПП в период t за весь период реализации проекта, руб.;

T – время работы ГПП за рассматриваемый период (месяц), ч.

Q – лимит средств, выделяемых на эксплуатационные затраты ГПП, руб.;

k^t – норматив капитальных затрат в расчете на 1 кВт мощности на стадии t реализации проекта, руб./кВт;

Y – оператор, определяющий учет ущерба от недопоставки электроэнергии, при $x < P_{\text{ПОТ}}(\omega)$ равен 1, при $x \geq P_{\text{ПОТ}}(\omega)$ равен 0.

Многофакторная стохастическая оптимизационная модель поставки электроэнергии подразделениям угольной шахты позволяет определить параметры функционирования системы электроснабжения при постоянном значении источника питания, но с учетом оптимизации поставки электроэнергии по подразделениям (тактических решений - управлений), на основе минимизации ущербов при распределении электроэнергии по подразделениям. Целевая функция модели соответствует (4) с учетом того, что x является константой. При этом сохраняются ограничения (6) и (8) модели (4)-(9). Данные о величине недопоставки (резерва) электроэнергии могут быть использованы для управления режимами электропотребления.

При реализации экономико-математической модели оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия на основе стохастического метода линеаризации [1] получены оптимальные значения мощности источника питания (соответствующее 4900 кВт) и подразделений шахты. Поиск оптимального решения с различных начальных точек одновременно (рис. 3) показал, что при достижении области оптимальных значений, оптимизируемые величины отличаются незначительно (до 100 кВт).

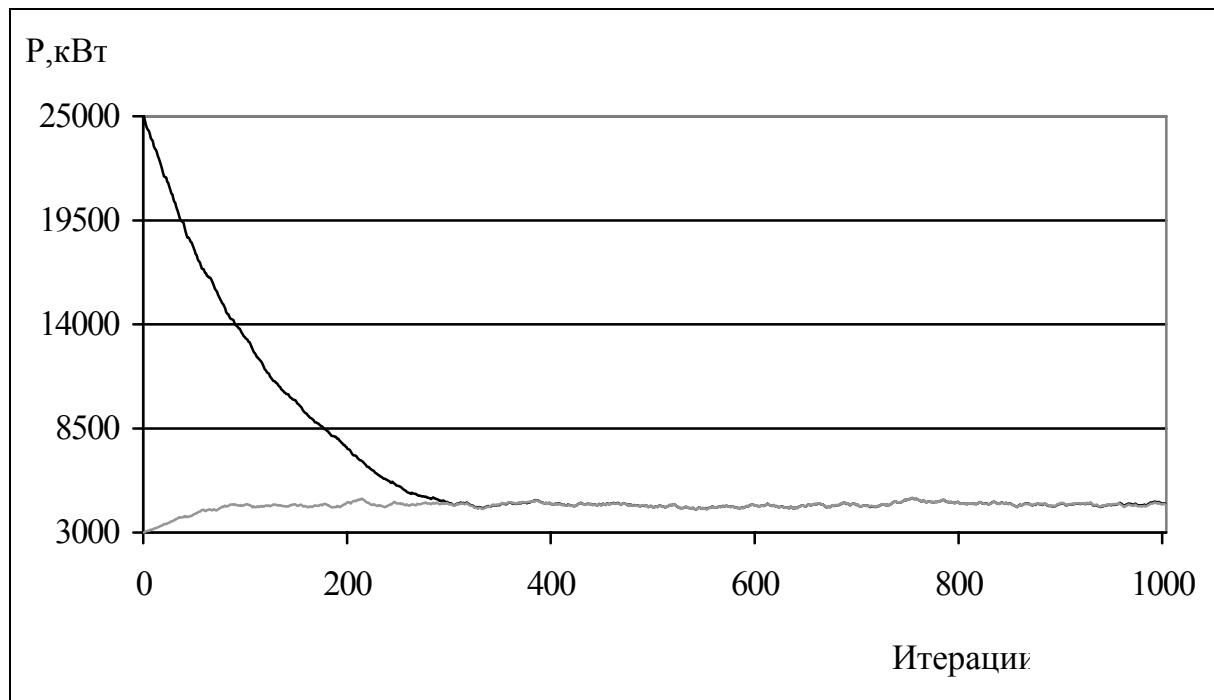


Рис.3. Изменение мощности источника питания x в процессе одновременного поиска с различных начальных точек:

— — начальная точка поиска 25000 кВт;
 — — начальная точка поиска 3000 кВт

Выводы:

1. Определены принципы построения системы моделей оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия.
2. Получена адаптированная модель оптимизации мощности источника питания, включающая стохастическую двухэтапную задачу с инерционно – стратегическими связями, позволяющая решать задачи оптимизации мощности источника питания и управления режимами электропотребления угольной шахты.

Литература

1. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1976. – 239 с.
2. Васильева М.Е. Экономико-математические методы оптимизации ключевых параметров и конфигурации тепловых сетей: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Кисловодск, 1999. – 24 с.
3. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ – 06 – 111 – 95). – М.: НПО ОБТ. – В 2 т., 1996.
4. Кардаш В.А. Введение в стохастическую оптимизацию. – Новочеркасск: НГТУ, 1995. – Кн. 1. – 135 с.
5. Кардаш В.А., Плющев Д.Б. Экономическая оптимизация стохастических систем в электроэнергетике. – Новочеркасск: НГТУ, 1997. – Деп. в ВИНТИ 11.12.97, № 3610-В97. – 106 с.
6. Кардаш В.А. Модели управления производственно-экономическими процессами в сельском хозяйстве. – М.: Экономика, 1981. – 183 с.
7. Кардаш В.А., Рапопорт Э.О. Моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. – Новосибирск: Наука, 1979. – 157 с.

8. Кардаш В.А. Решение задач экономической оптимизации структуры генерирующих мощностей в изолированной энергосистеме // Изв. вузов. Электромеханика, 1994. – № 6. – С. 13-17.
9. Кардаш В.А. Использование условий инвариантности стратегий в одной эффективной процедуре прямого метода стохастического программирования // Изв. вузов. Электромеханика, 1993. – № 1. – С. 86-90.
10. Кравченко О.А. Особенности моделирования функционирования системы электро-снабжения угледобывающего предприятия при оптимизации ее пропускной способности // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., 11 апреля 2001 г., г. Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла», 2001. – Ч. 5-6. – С. 19-23.
11. Ладейщикова Е.Н. Стохастические методы экономического обоснования вариантов развития современных систем централизованного теплообеспечения: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Ростов н/Д, 2000. – 24 с.
12. Михеева А.П. Стохастическая оптимизация структуры и функционирования предприятий теплоснабжения в рыночной среде: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Ростов н/Д, 2002. – 24 с.
13. Правила безопасности в угольных шахтах / РД 05-94-95. – Самара: Самар. Дом печати, 1995. – 242 с.
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 424 с.
15. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., СПб.: Деан, 2000. – 926 с.
16. Указания по регулированию режимов электропотребления на предприятиях угольной промышленности РТМ 12.25.010-81 (Утверждены Приказом Минуглепрома СССР от 27 ноября 1981 г. № 540) // Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления (сборник инструкций). – М.: Недра, 1983. – 224 с.

346504, г. Шахты, ул. Маяковского, 17, т. 2-48-44, e-mail: sunny@shakht.donpac.ru.

УДК 37:004.7.003.1

ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО- КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОБРАЗОВАНИИ

О.А. Терновский

Каменский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ)

Рассмотрены критерии оценки экономической эффективности, подходы к определению экономической эффективности применительно к информационно-коммуникационным технологиям в образовании.

В высшей школе технология обучения предполагает управление учебным процессом: организацию деятельности обучаемого и ее контроль [1]. Развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и их интенсивное влияние, на учебный процесс в том числе, требует выявления принципов и способов эффективного использования средств обучения, ис-

пользующих ИКТ. Эффективность педагогической технологии находится в прямой зависимости от качества ИКТ, что требует объективной оценки [2] и оценки эффективности внедрения.

В настоящее время при решении вопроса об использовании в учебном процессе ИКТ не часто встает вопрос об экономической эффективности предлагаемых решений. Во многом это объясняется тем, что или ИКТ применяют без анализа, так как поступила «директива сверху» и оценка эффективности внедряемых ИКТ не учитывается, или применяют то, что есть «под руками». Кроме того, в отечественной литературе и периодике проблемы эффективности обсуждаются гораздо реже, чем, например, вопросы использования тех или иных ИКТ. Это положение связано, прежде всего, с тем, что большинство исследователей, занимающихся данной проблематикой сейчас, не получили соответствующего экономического образования в процессе обучения в вузах и недооценивают роль экономических факторов при оценке применимости своих исследований на практике. Эта же причина не позволяет им глубоко проанализировать экономическую составляющую ИКТ в образовании и является одной из причин, по которой в России пока не до конца отлажены механизмы ценообразования на образовательные и сопутствующие услуги с использованием ИКТ (обучение, внедрение, сопровождение и т.д.). Это в целом существенно тормозит дальнейшее развитие образовательных услуг (ОУ) с использованием ИКТ.

Ниже будут кратко рассмотрены ключевые моменты оценки экономической эффективности применения ИКТ в ОУ, но для начала определим, что же такое экономическая эффективность?

Различают абсолютную и относительную (сравнительную) экономическую эффективность [3]. В первом случае проводится анализ уже выбранного (или даже реализованного) варианта проекта без учета возможных альтернатив. Во втором случае альтернативные проекты сравниваются между собой с позиций экономической эффективности. Можно рассчитывать также удельные показатели эффективности (на рубль вложенных затрат, на одного работника и т.д.).

Приведем некоторые критерии экономической эффективности, встречающиеся в зарубежной и отечественной литературе [4]. Для удобства разобьем их по группам. К относительной эффективности отнесём следующие критерии:

- отношение между затратами ресурсов и производимым в результате их использования объемом товаров или услуг в стоимостном выражении;
- соотношение между получаемыми результатами производства – продукцией и материальными услугами, с одной стороны, и затратами труда и средств производства – с другой.

А к абсолютной эффективности отнести:

- производство продукта определенной стоимости при наименьших затратах ресурсов;

- достижение наибольшего объема производства товара или услуги с применением ресурсов определенной стоимости;
- получение как можно большего из доступных нам ограниченных ресурсов;
- меру затрат на достижение поставленных целей;
- достижение наибольших результатов при наименьших затратах или снижение совокупных затрат на единицу продукции или выполненной работы.

Приведем определение экономической эффективности, которое как нам кажется более полно отражает сущность образовательных систем. **Экономическая эффективность** – это приведенная многокритериальная оценка, выявляющая степень соответствия полученных результатов намеченным целям и задачам учебно-воспитательного процесса в лице подготовленного выпускника системы с наименьшими затратами времени, труда и здоровья преподавателей и студентов, а также денежных средств (как со стороны обучающегося, так и со стороны образовательных учреждений), выраженная либо в абсолютных, либо в относительных единицах.

Рассмотрев существующие критерии оценки экономической эффективности [1, 2, 5, 6, 7] приведём следующие методики сравнения и анализа этих критериев:

1. Соизмеримая разность приведённых результатов на создание системы обучения и затрат на проведение этого проекта. Формула данного подхода может иметь вид: $\Xi = P - Z$.

2. Дробь, в числителе которой стоят показатели, которые необходимо увеличить (например качество), а в знаменателе те, которые желательно уменьшить (стоимость обучения). Математической интерпретацией этого подхода является выражение: $\Xi = \frac{P}{Z}$.

3. Векторный показатель, включающий в себя определенные критерии (например, качество и стоимость), имеющий вид: $\Xi = (K, C)$

Одной из важных задач, стоящей перед исследователем этой области, является – правильно определять совокупность затрат (в том числе и косвенных) создания и реализации образовательного проекта с использованием ИКТ (в частности, затраты на перестройку управления предприятием, вузом, обучение персонала и т.д.) и правильно прогнозировать возможные результаты, включая в них не только локальные, но и общесистемные эффекты.

Литература

1. Чернилевский В., Филатов О.К. Технология обучения в высшей школе. Учебное издание / Под ред. В. Чернилевского. – М.: Экспедитор, 1996.
2. Щетинин В.П., Хроменков Н.А, Рябушкин Б.С. Экономика образования. – М: Рос. Агенство, 1998. – 306 с.
3. Лившиц В.Н.. Оптимизация при перспективном планировании и проектировании. – М.: Экономика, 1984. – 224 с.

4. Вечканов Г.С., Вечканова Г.Р. Микро- и макроэкономика. Энциклопедический словарь / Под общей ред. Г. С. Вечканова. – Серия «Учебники для вузов, специальная литература». – СПб.: Изд-во «Лань», 2000. – 352 с.
5. Назарова Т.С., Полат Е.С. Средства обучения (Технология создания и использования). – М.: УРАО, 1998. – С. 203.
6. Нуждин В.Н. Информатизация и система тотального управления качеством. Дистанционное образование в России: проблемы и перспективы. Материалы VI Междунар. конф. по ДО (Россия, Москва, 25-27 ноября 1998 г.). С. 317-336.
7. International conference of educational and instructional technology, 1978/1979. L/; N/Y/., 1978/ P. 258.

E-mail: terol@aport.ru.

УДК 332.142

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ МЕТОДАМИ САМОЗАНЯТОСТИ

Б.Ю. Сербиновский, Р.И. Цветков

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Рассмотрен подход к обеспечению экономической безопасности региональной экономической системы, переживающей период шоковой реструктуризации. Показано, что в современной России, которая не обладает достаточными ресурсами для государственного управления процессом реструктуризации промышленности региона для смягчения ее социально-экономических последствий, наиболее приемлемыми методами позитивного воздействия на экономический потенциал региона являются методы самозанятости.

Реструктуризация российской экономики протекает по шоковому варианту, когда изменения условий хозяйствования не только значительны, но и весьма скоры в части резкого изменения спроса на продукцию предприятий многих отраслей. Правительство оказывается не в состоянии управлять этим процессом, т.к. не имеет достаточных ресурсов, которые могут быть направлены на столь широкомасштабную реструктуризацию. Более того, зачастую средства государства тратятся на закупки сырья и товаров за рубежом вместо того, чтобы поддержать собственного производителя. Например, известны факты закупки угля в Польше, в то время как российская угольная промышленность вынуждена сокращать объемы добычи.

В Восточном Донбассе, одном из старейших районов угледобычи, промышленность была ориентирована преимущественно на угольную промышленность. Поэтому, когда в результате реструктуризации добыча угля была резко сокращена и большинство шахт закрыто, то экономика региона оказалась в весьма плачевном состоянии. Масштабы такой шоковой реструктуризации можно проиллюстрировать тем, что доля угольных предприятий Восточного Донбасса в общей добыче угля в России не превышает 3%, приближаясь к 2%. Стремительно сокращающаяся добыча угля привела к банкротству или тяжелому финансовому состоянию подав-

ляющее большинство предприятий, относящихся к другим отраслям промышленности, но обеспечивающих функционирование угольной отрасли.

Реструктуризация угольной промышленности проводилась путем закрытия шахт (часто принудительного) по планам правительства путем их затопления, что пагубно отразилось на экологическом состоянии региона. Рабочая сила увольнялась с выплатой незначительной компенсации. Сравнительно небольшие средства были выделены на создание новых рабочих мест и переобучение безработных. Отметим, что, называя средства «небольшими», мы их сравниваем с потребностью, которая значительно их превышала.

Как результат реструктуризации угольной промышленности, преобладавшей в Восточном Донбассе, были высвобождены большие ресурсы капитала (в форме основных фондов) и труда. Отметим также, что сокращение добычи не связано с выработкой залежей угля, т.к. объем разведанных балансовых запасов угля в Ростовской области составляет 6,5 млрд. тонн.

Промышленность Восточного Донбасса нуждалась, прежде всего, в средствах, направленных на:

- сохранение основных фондов угледобывающих предприятий и их рациональное последующее использование на действующих шахтах;
- создание новых производственных мощностей в других отраслях промышленности, в том числе путем создания новых предприятий легкой промышленности, бытовой электроники и др.;
- переобучение персонала закрываемых предприятий;
- выделение средств безработным, которые хотели бы открыть собственное дело.

Справедливости ради необходимо отметить, что государство и МВФ выделяли средства на указанные направления, чтобы смягчить кризис, постигший экономику региона, но этих средств оказалось явно недостаточно. Например, если за 3 года только по ОАО «Ростовуголь» было сокращено до 100 тыс. чел., то, судя по официальным отчетам, новых рабочих мест в рамках реализации программ реструктуризации отрасли было создано около 3 тыс.

В этих условиях наиболее реальными являются программы сохранения и повышения экономического потенциала региона, опирающиеся на методы самозанятости, которые предусматривают использование предпринимательской инициативы самих безработных, направленной на создание предприятий малого бизнеса. Такие методы предусматривают поддержку безработных по следующим основным направлениям:

- консультационная помощь в выборе вида деятельности;
- помощь в составлении бизнес-планов;
- консультации и обучение организации нового дела, включающие минимальное, но достаточное по объему изучение будущими предпринимателями техники и технологии, экономики, финансов, методов организации производства, планирования деятельности, управления малым предприятием и т.п.;

- кредитование предпринимателей на льготной, но возвратной основе (некоторые ранее осуществляемые программы предусматривали полное или частичное погашение кредитов, выдаваемых предпринимателям за счет различных фондов и государственного финансирования).

Обеспечение региональной безопасности требует создания особых методов диагностики и мониторинга программ самозанятости, которые направлены на:

- определение численности высвобождаемой рабочей силы;
- определение потребности в рабочей силе на предприятиях других отраслей;
- прогнозирование объема средств на обучение безработных новым специальностям;
- выделение тех увольняемых работников, которые готовы и потенциально способны участвовать в программах самозанятости, т.е. способны реализовать себя в качестве предпринимателей;
- определение потребности в средствах на развитие малого бизнеса, включая кредитные средства;
- организацию процессов самозанятости в их подготовительной части;
- создание предприятий малого бизнеса;
- контроль за целевым расходованием средств, направляемых на реализацию программ самозанятости;
- мониторинг результатов деятельности малых предприятий, созданных по программам самозанятости.

На основе описанного подхода и методов могут быть созданы специальные организационно-экономические механизмы обеспечения экономической безопасности региона и преодолена ситуация недостатка средств на управление реструктуризацией промышленности другими методами.

По нашему мнению, использование методов самозанятости для управления реструктуризацией промышленности региона может в значительной степени смягчить социально-экономические последствия шоковой, неуправляемой реструктуризации и помочь остановить падение промышленного потенциала Восточного Донбасса, а затем перейти к его наращиванию.

УДК 37:004.7

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ОБРАЗОВАНИИ

О.А. Терновский

Каменский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ)

Рассмотрен термин «информационно-коммуникационные технологии» (ИКТ). Приведена классификация ИКТ, используемых в образовании. Раскрыта структура средств ИКТ в образовательном процессе.

Рассмотрим термин «информационно-коммуникационные технологии» (ИКТ). Этот термин появился сравнительно недавно. Он заменяет и дополняет термин «информационные технологии» [1]. Связано это с тем, что информационные технологии определяются как нечто «стационарное». Развитие и все большее использование средств коммуникации в учебном процессе заставляет уделить особое внимание слову «коммуникации». Поэтому автор полагает, что использование термина ИКТ более уместно и позволяет нагляднее понимать структуру использования средств связи и взаимодействия между преподавателем и студентом в образовании. Некоторые исследователи [2] расшифровывают аббревиатуру ИКТ как «Информационные и телекоммуникационные Компьютерные Технологии». Мы полагаем, что такая расшифровка возможна, но она сужает смысл слова «коммуникации». Поэтому автор предлагает пользоваться термином ИКТ в значении «информационно-коммуникационные технологии».

Мы полагаем, что наиболее полно сущность ИКТ раскрывается в следующем определении: совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, интегрированных с целью сбора, обработки, хранения, распространения, отображения и использования информации в интересах ее пользователей (<http://www.iis.ru/glossary/ict.ru.html>).

Средства ИКТ - программно-аппаратные средства и устройства, функционирующие на базе систем микропроцессорной вычислительной техники и ТК, обеспечивающие ИКТ.

Далее перейдем к структуре средств ИКТ в образовательном процессе. Применяемые на сегодняшний день средства ИКТ в образовании можно разделить на три большие группы:

- неинтерактивные;
- средства компьютерного обучения;
- интерактивные.

К неинтерактивным средствам ИКТ, которые обычно применяются при «классической» подготовке персонала, относятся:

- печатные издания;
- аудио учебно-информационные материалы;
- видео учебно-информационные материалы.

К средствам компьютерного обучения относятся:

- сетевые электронные учебно-методические пособия;
- компьютерные обучающие системы в обычном и мультимедийном вариантах;
- средства обучения на основе экспертных обучающих систем (ЭОС);
- средства обучения на основе виртуальной реальности (ВР).

Интерактивные средства ИКТ можно подразделить на две категории. К первой относятся средства, обладающие средней интерактивностью, а ко второй – высокой. В состав первой группы входят:

- электронная почта;
- Web-сервер;

- ftp;
- лабораторные дистанционные практикумы;
- тренажеры с удаленным доступом;
- базы данных и знаний с удаленным доступом;
- электронные библиотеки с удаленным доступом;
- средства обучения на основе геоинформационных систем (ГИС).

Во вторую группу входят:

- конференции по аудиоканалам;
- конференции по видеоканалам;
- IRC, MUD.

Также средства ИКТ различают по способу получения учебной информации:

- синхронные учебные системы;
- асинхронные учебные системы.

Синхронные системы предполагают одновременное участие в процессе учебных занятий обучаемых и преподавателя. К таким системам относятся интерактивное телевидение, видеоконференции, IRC, MUD.

Асинхронные системы не требуют одновременного участия обучаемых и преподавателя. Обучаемый сам выбирает время и план занятий. К таким системам в дистанционном образовании относятся курсы на основе печатных материалов, аудио/видео кассетах, электронной почте, WWW, FTP.

Смешанные системы, которые используют элементы как синхронных, так и асинхронных систем.

Классификация ИКТ технологий и их характеристик приведена в таблице.

Таблица

Классификация ИКТ технологий и их характеристик

Технология	Характеристики
Неинтерактивные	Низкая коммуникационная интерактивность. Стоимость производства прямо пропорциональна числу обучаемых. Развитая инфраструктура.
Средства компьютерного обучения	Низкая степень интерактивности. Низкая стоимость. Развитая инфраструктура.
Интерактивные со средней степенью интерактивности	Средняя степень интерактивности. Низкая стоимость. Развитая инфраструктура.
Интерактивные с высокой степенью интерактивности	Высокая степень интерактивности. Высокая стоимость. Неразвитая инфраструктура.

В последнее время средства, относящиеся к использованию сети Internet, вытесняют остальные инструменты. Это связано с тремя обстоятельствами:

- 1) техническое развитие Internet-технологий, позволяющих более дешевыми и удобными средствами имитировать любую учебную модель;
- 2) простота подключения к сети Internet;
- 3) низкая стоимость подключения.

Литература

1. Кольвах О.И. Ситуационно-матричная бухгалтерия как одно из средств развития теории учета в условиях современных программно-информационных технологий // Аудит и финансовый анализ. – № 3. – С. 32-37.
2. Состояние и развитие высшего и среднего образования. / Под ред. А.Я. Савельева. – М.: НИИ ВО, МФТИ, 1998. – 352 с.

E-mail: terol@aport.ru.

УДК 332.142:658

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МИКРОЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: ДИНАМИЧНЫЕ И СТАТИЧНЫЕ АССОЦИАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Б.Ю. Сербиновский, И.Н. Духнов

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Классифицированы ассоциативные структуры производственных комплексов, описаны статичные и динамичные структуры, объединяющие бизнес-партнеров на уровне компромисса общих и частных экономических интересов.

Г. Форд, создавая в начале XX века свою кампанию, стремился объединить в ней разнородные специализированные производства, включенные в единый процесс кооперации по производству автомобилей. Такие сложные производственные комплексы создавались с использованием двух методов – приобретения или строительства соответствующих предприятий и их объединение на уровне владения собственностью. Таким путем шел не только Г. Форд. И в настоящее время объединение предприятий в единый производственный комплекс большей частью осуществляется путем концентрации их собственности в руках одного владельца (чаще коллективного, например, открытого акционерного общества).

Поскольку владение крупным производственным комплексом требует овладения большими капиталами, то наиболее распространены холдинги с центральной кампанией в форме открытого или закрытого акционерного общества. Такая практика характерна для всех развитых капиталистических стран. Даже, если в начале объединение происходит на базе собственности предприятия, принадлежащего одному владельцу, то в послед-

ствии потребность в привлечении дополнительных капиталов создает необходимость преобразования головного предприятия в акционерное общество. Возвращаясь к истории кампании Г. Форда, отметим, что и она прошла такой путь, была вынуждена поменять единоличную форму собственности на коллективную.

Создание производственных, технологически единых комплексов продиктовано стремлением обеспечить экономическую безопасность такой микроэкономической системы за счет экономии на издержках производства, лучшего использования возросших производственных, финансовых, сбытовых и других возможностей, повышения конкурентоспособности.

Однако существует и другой путь создания технологически связанных производств в единый комплекс, выпускающий определенные виды продукции. Это объединение ассоциативное, построенное на совпадающих экономических интересах, но не объединяющее собственность предприятий в процессе их кооперативного взаимодействия. В этом случае комплекс объединяет предприятия, являющиеся бизнес-партнерами. Каждое предприятие выполняет свой комплекс работ (очередной передел сырья) в рамках единого процесса кооперации, постепенно превращая природные ресурсы в готовый и единый для комплекса продукт, который реализуется на рынке, принося выгоды для каждого участника такой кооперации производств.

Таким образом возникает ассоциативная структура, удовлетворяющая требованиям экономической безопасности микроэкономической системы и обладающая более сильными рыночными, производственными, финансовыми позициями и потенциалом. Ассоциативные связи устанавливаются на уровне компромиссного удовлетворения групповых и частных интересов бизнес-партнеров.

Можно выделить два класса ассоциативных структур предприятий, объединенных в производственный комплекс на уровне экономических интересов: статичные и динамичные.

Статичные структуры – это достаточно устойчивые ассоциативные образования, объединенные на договорной основе и имеющие устойчивые технико-технологические связи. В статичных структурах можно выделить более мощные в производственном и финансовом плане предприятия и фирмы-сателлиты, непрерывно поставляющие на головное предприятие комплектующие изделия, полуфабрикаты, сырье и т.п. Предприятия в статичных структурах согласуют не только оперативные и краткосрочные планы производства и поставки продукции. Они координируют планы развития и внедрения новой техники, осуществляют взаимное финансирование перспективных проектов новых производств и видов товаров и услуг, оказывают взаимную финансовую поддержку и т.д. Статичная структура в конкурентной рыночной среде может выступать как виолент, защищающий собственные кооперативные интересы от любых субъектов рыночной конкуренции.

Динамичные структуры образуются и мобильно меняются в зависимости от изменения условий хозяйствования. Такая структура стабильна

на небольшом отрезке времени и претерпевает некоторые незначительные или существенные изменения в зависимости от внутренних и внешних условий ассоциативной микроэкономической системы. Динамичная структура может изменяться, прежде всего, по составу входящих в нее предприятий. Такое изменение может затрагивать конечный продукт кооперации. Количество переделов природных ресурсов в рамках динамичного по своей структуре производственного комплекса может быть большим или меньшим. Вместе с этим экономическая безопасность динамичной структуры также повышается, т.к. достигается цель построения кооперативных связей, обеспечивающих общие и частные экономические интересы, обычно в форме доходов и прибыли, получаемых каждым предприятием. Однако было бы неверным говорить о том, что участники динамичных кооперативных объединений кровно заинтересованы в стабильности и развитии своих бизнес-партнеров. В этом случае в море конкуренции выплывает каждый самостоятельно, но такое состояние является стимулом для каждого предприятия на пути обеспечения собственной конкурентоспособности различными средствами (техничко-технологическими, финансово-экономическими, организационно-управленческими, политическими и др.).

Динамичные и статичные ассоциативные структуры производственных комплексов, объединенных единой технологической кооперацией и единым продуктом, еще недостаточно исследованы теоретически и методологически, хотя и распространены в хозяйственной практике. Решение вопросов теории и методологии эффективного использования статичных и динамичных структур производственных комплексов в хозяйственной практике может предоставить новые возможности для повышения экономической безопасности, устойчивости и развития микроэкономических систем.

E-mail: serbinovskiv@mail.ru.

УДК 622.001:519.86 (06)

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

И.И. Надтока, О.А. Кравченко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Приводятся рекомендации по определению параметров стохастического метода линеаризации при решении задачи оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия. Показан пример реализации метода применительно к оптимизации мощности источника питания угольной шахты.

На современном этапе задача освоения производственных мощностей угледобывающих предприятий занимает одно из важнейших мест [5,10]. Недозагрузка технологического оборудования отражается на недо-

использовании мощности всего электроэнергетического комплекса угольной шахты, и в особенности, главной понизительной подстанции (ГПП), что влечет необоснованное завышение эксплуатационных затрат, амортизационных отчислений и налоговых платежей, увеличивающих себестоимость угля.

Решение задачи оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия, имеющей стохастическую двухэтапную постановку с инерционно – стратегическими связями, требует определения особенностей моделирования процесса оптимизации, тесно связанных с характером функционирования объекта исследования. Функционирование шахты определяется трудно прогнозируемыми технико – экономическими и технологическими параметрами [6], что обуславливает использование стохастического инструментария для решения поставленной задачи. При выборе метода и его реализации следует обратить внимание на особенности модели, определяющие значительную амплитуду значений целевой функции (рис. 1, 2):

а) влияние параметра $t_k(\omega)$. На шахте наблюдается значительная динамика времени электропотребления, лавы могут работать от 1 до 3 смен, так как время работы напрямую связано с величинами электропотребления и ущерба от простоя вследствие недопоставки электроэнергии;

б) наличие электроприемников первой категории.

Для решения задачи оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия с учетом особенностей модели оптимизации мощности трансформаторов ГПП был выбран стохастический метод линеаризации, используемый, как правило, для задач, определенных с помощью линейных уравнений и неравенств, не требующий построения дополнительных функций и определения операторов в отличие от методов штрафных функций и проектирования стохастического квазиградиента.

Как видно из рис. 1, значение целевой функции колеблется в значительном диапазоне от 995207 до 48467601 руб. при мощности источника

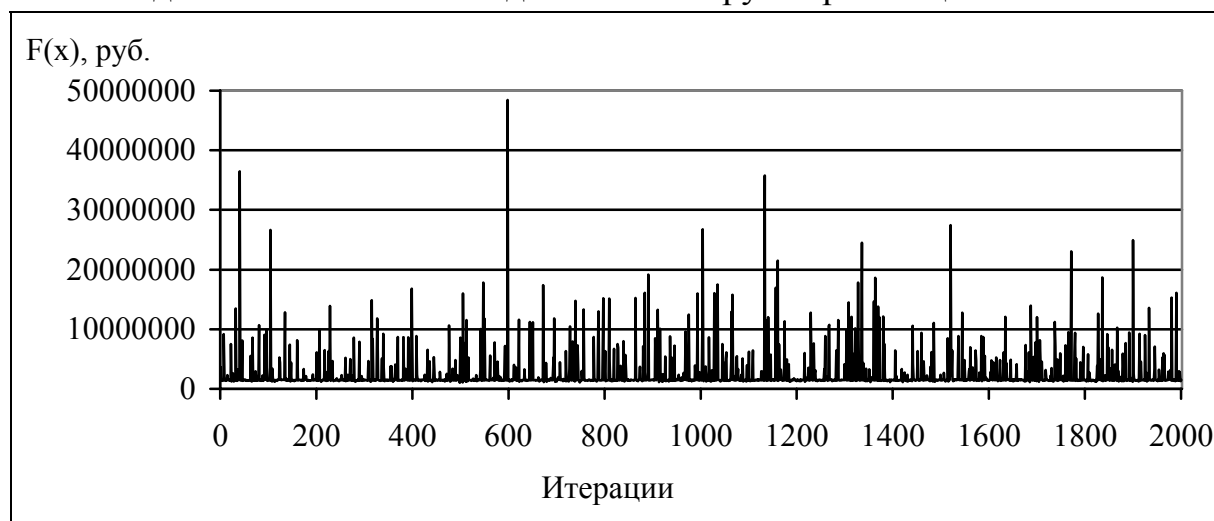


Рис.1. Изменение значений целевой функции $F(x)$ (затрат) при постоянной мощности источника питания $x=5000$ кВт и различных вариантах распределения мощности между подразделениями

питания угледобывающего предприятия x , равном 5000 кВт. Колебания $F(x)$ определены различными вариантами распределения мощности между подразделениями и динамикой технологических и технико-экономических показателей (величин добычи угля, его цены, времени работы подразделений и т.д.), генерируемых датчиками случайных чисел.

«Всплески» вверх значений целевой функции связаны с возникновением недоподачи мощности вследствие реализаций в системных ситуациях больших значений потребной мощности (до 8000 кВт, т.е. недоподача составляет около 3000 кВт), что приводит к значительным ущербам от простоев.

При x , соответствующем 25000 кВт, значение $F(x)$ затрат колеблется в диапазоне от 4236117 до 8358065 руб., как видно из рис. 2.

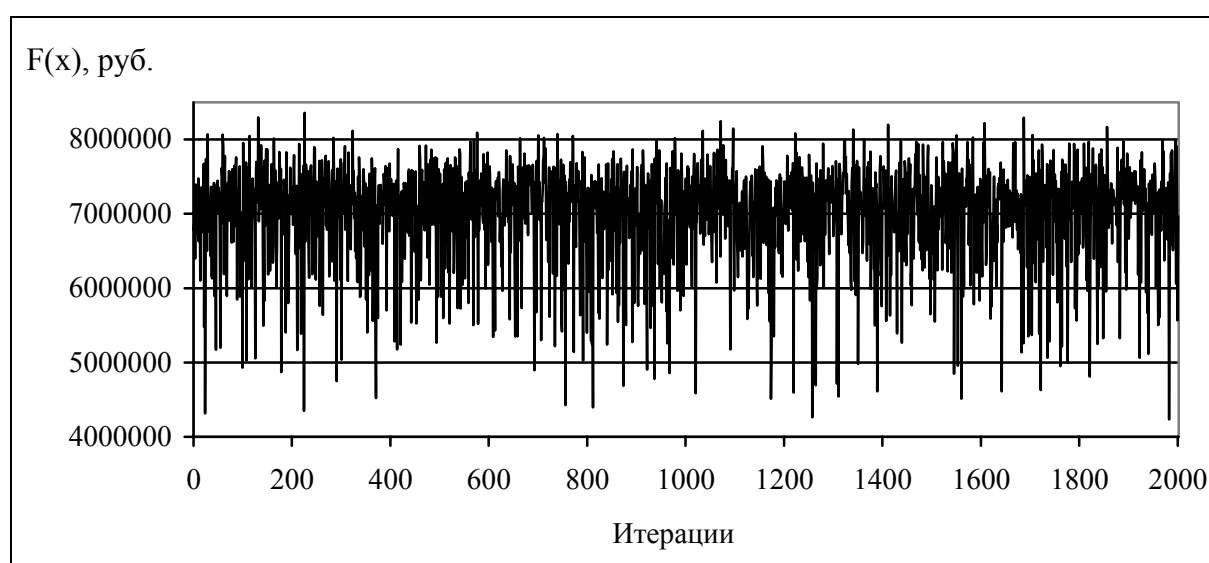


Рис.2. Изменение значений целевой функции (затрат) $F(x)$ при постоянной мощности источника питания $x=25000$ кВт

Колебания $F(x)$ на рис. 2 определены только динамикой технико-экономических показателей (величин добычи угля, его стоимости, времени работы лав и т.д.), генерируемых датчиками случайных чисел. В данном случае «всплески» значений целевой функции в сторону ее увеличения не наблюдаются в связи с отсутствием недоподач, так как величина подаваемой мощности (25000 кВт) превышает максимально необходимую более чем в три раза.

При рассмотрении множества значений целевой функции, определенной на отрезке от 3000 до 25000 кВт, рассчитанной по средним значениям параметров без оптимизации (рис. 3), определено, что оптимальному значению мощности источника питания шахты соответствует значение функции, составляющее 1312714 руб.

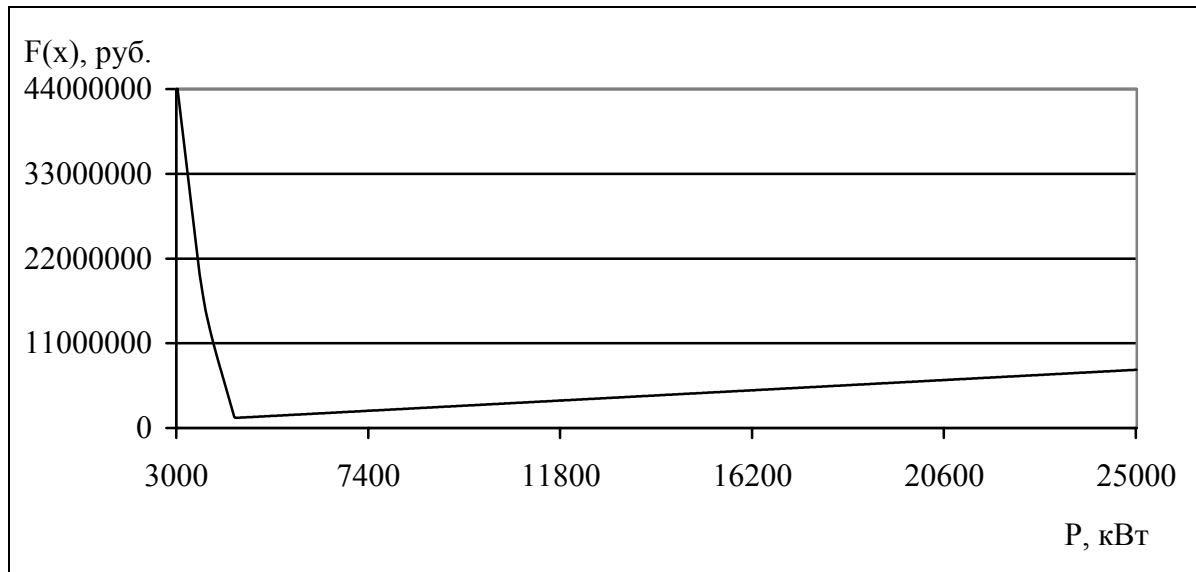


Рис.3. Изменения значений целевой функции $F(x)$ при изменении мощности источника питания x от 3000 до 25000 кВт при средних значениях случайных факторов

При аналогичном расчете, по средним значениям, но с учетом работы метода были получены следующие результаты: оптимальная величина мощности составила около 4300 кВт, а значение целевой функции в этой точке составляет около 1811410 руб., как видно из рис. 4, 5.

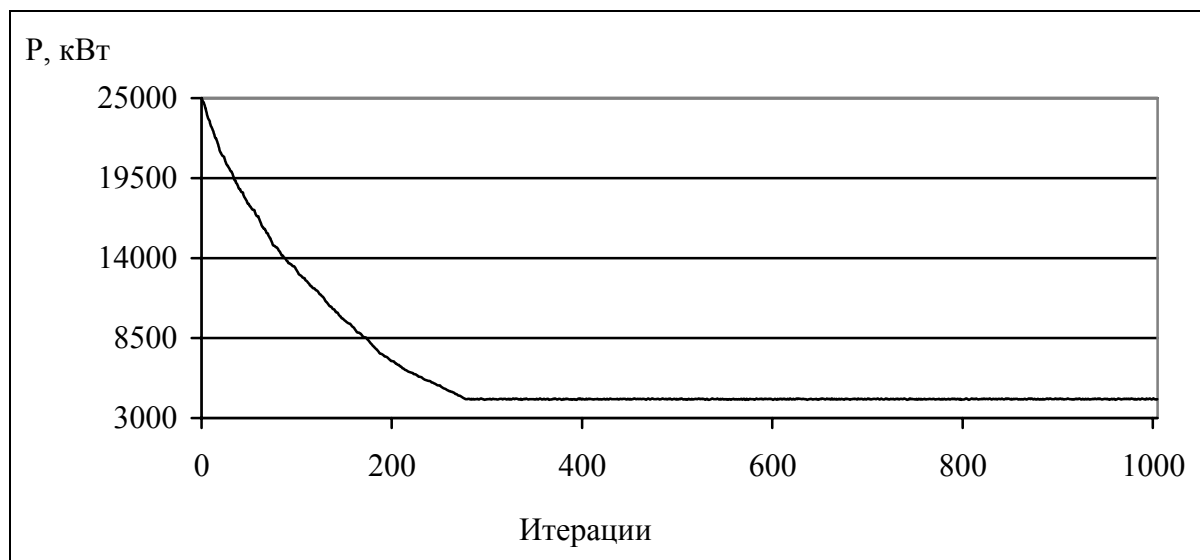


Рис.4. Процесс поиска оптимального значения мощности источника питания шахты при средних значениях случайных факторов

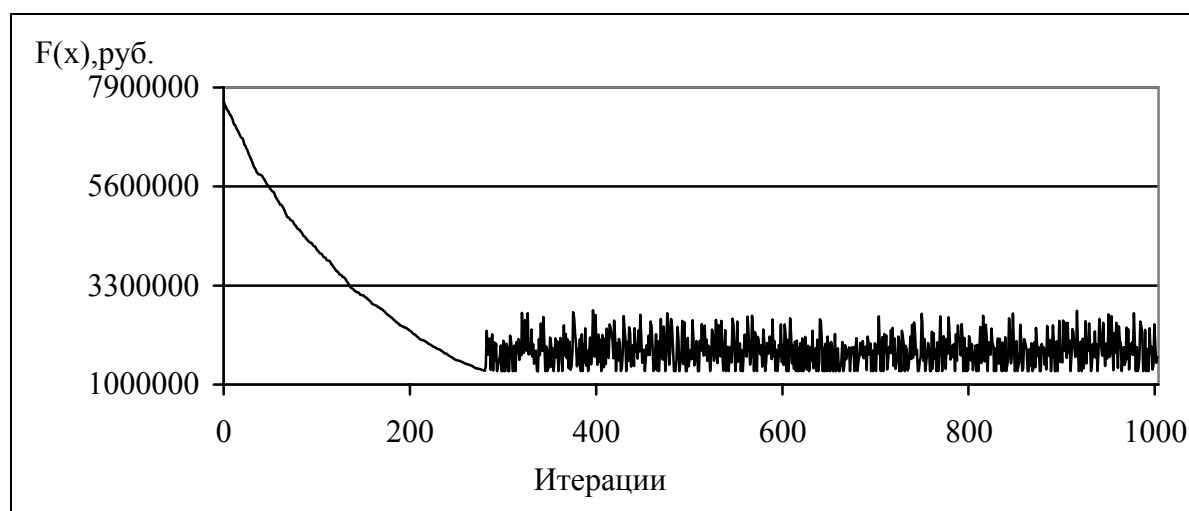


Рис.5. Процесс поиска оптимального значения целевой функции $F(x)$ при средних значениях случайных факторов

Для реализации модели оптимизации мощности трансформаторов ГПП угольной шахты адаптирован алгоритм, представленный в работе профессора В.А. Кардаша [3].

При поиске оптимального значения мощности источника питания угледобывающего предприятия, осуществляемом на основе реализации стохастического метода линеаризации, результаты которого представлены на рис. 6, должны соблюдаться следующие требования:

- 1) обеспечение требований надежности электроснабжения электроприемников в соответствии с их категориями (I, II, III по ПУЭ) [9];
- 2) эффективность работы метода (скорость сходимости метода);
- 3) дифференциация параметров задачи второго этапа в зависимости от особенностей области определения.

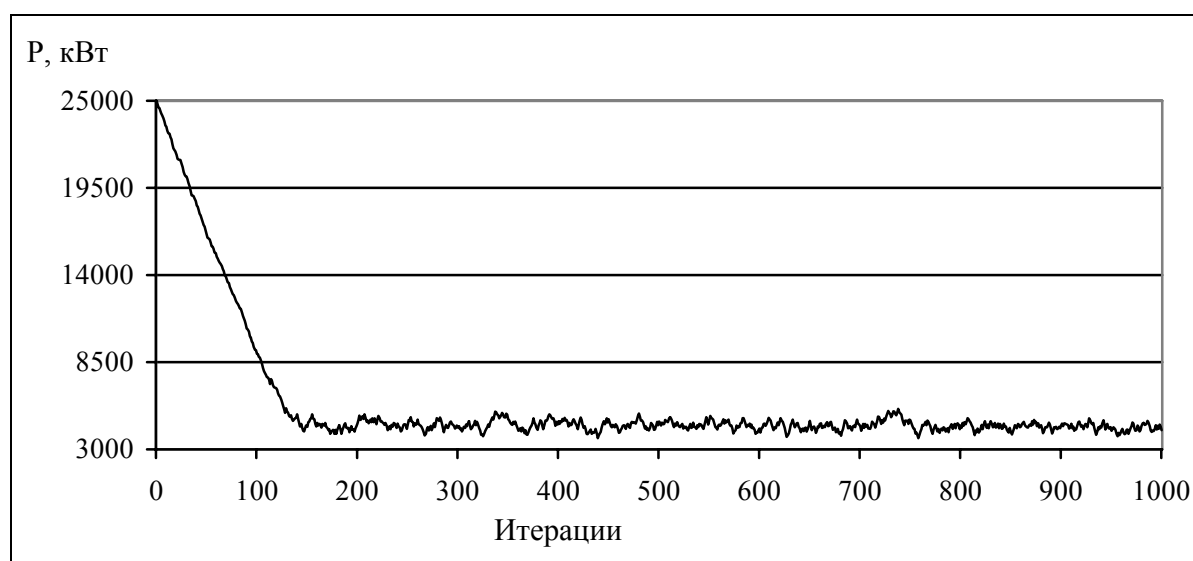


Рис.6. Изменение мощности источника питания x в процессе поиска при $\alpha = 300$ кВт

Шаг 1. Выбираем начальный допустимый вектор стратегий: $x^0 \in X$. Поиск решения ведется в области, верхняя граница которой ограничена значением расчетной мощности, определенной по методу коэффициента спроса и равной 25 МВт, и соответствует мощности установленных на данный момент каждого из трансформаторов.

Выбор величины нижней границы поиска решения определен на основе требований Правил устройства электроустановок (ПУЭ). Угольная шахта относится к электропотребителям I категории [9], следовательно, нижняя граница области определения оптимизируемой функции не должна быть менее суммы значений потребной мощности подразделений, относящихся к I категории электроснабжения.

Поиск решения можно начать с нижней границы области, исходя из данных суточных графиков нагрузки с 1995 года по 1998 год, указывающих, что используемая мощность предприятием находится в диапазоне от 2 до 5 МВт, но возможно и с верхней границы области. При реализации стохастического метода линеаризации было принято решение выбирать начальную точку, близкую к верхней границе области решения.

Шаг 2. Генерируем случайную реализацию $(\omega = (c(\omega), L(\omega), q(\omega), D(\omega), z(\omega), w_{\text{ПОТ}k}(\omega), t_k^j(\omega), t_k^l(\omega)))$ [7].

Шаг 3. Решаем оптимизационную задачу второго этапа:

Принципы оптимизации тактических решений должны определяться самим предприятием.

При данной постановке задачи, в случае когда $x < P_{\text{ПОТ}}(\omega)$, распределение электроэнергии осуществляется так, чтобы ущерб от недопоставки электроэнергии в целом по предприятию был минимальным. Для системы энергоснабжения нескольких предприятий возможен иной вариант оптимизации тактик, которая будет осуществляться в соответствии с принципом «равного ущерба для всех потребителей», во избежание конфликтов конкурирующих электропотребителей, являющихся крупными промышленными предприятиями, изготавливающими подобные товары.

$$\min_{\omega} \left[\sum_{k=1}^n \bar{w}_k(\omega) G_k L(\omega) (D(\omega) / t_{\text{лаб}}(\omega)) \right]; \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n \bar{w}_k(\omega) = \bar{W}(\omega), \quad \omega \in \Omega; \quad (2)$$

$$0 \leq \bar{w}_k(\omega) \leq \bar{W}(\omega), \quad \omega \in \Omega; \quad (3)$$

Задача второго этапа (1) – (3) оптимизации тактических решений, где минимизируются ущербы при распределении электроэнергии по подразделениям, является задачей линейного программирования, при этом каждый компонент вектора $\bar{W}(\omega)$, $\bar{w}_k(\omega)$ лежит на отрезке от 0 до величины недопоставки электроэнергии в целом по предприятию.

Для решения задачи (1) – (3) использовался подход поэтапной подачи электроэнергии, начиная с подразделений с максимальной величиной

ущерба от простоя. В случае, когда $x \geq P_{\text{ПОТ}}(\omega)$, в данной задаче не представляется возможным определить ущербы каждого из подразделений от резерва мощности, поэтому распределение резерва осуществляется пропорционально долям потребностей в электроэнергии подразделений.

Шаг 4. Пусть вектор $\Psi(\omega)$ – k -мерный вектор двойственных оценок ограничений модели оптимизации мощности трансформаторов ГПП угледобывающего предприятия. Компоненты вектора $\Psi(\omega)$ характеризуют приросты целевой функции от вариаций вектора x^0 . Поэтому $\Psi(\omega)$ является градиентом функции $F(\omega, x)$ в направлении вектора x .

Для обоснования сдвига в нужном направлении по вектору x решаем следующую задачу:

$$\min_{x \in X} (\bar{\Psi}, \Delta x) \quad (4)$$

$$1) \ x \in X; \quad (5)$$

$$2) \ (1 - \phi)x \leq x \leq (1 + \phi)x; \quad (6)$$

где ϕ – константа, задающая пределы вариации x (в которых не изменится вектор $\bar{\Psi}(\omega)$, $(0 < \phi < 1)$, $\bar{\Psi} = -\bar{\Psi}(\omega)$; $\Delta x = \bar{P}_{\text{ПОТ}}(\omega) - \bar{x}$.

Использование операции усреднения стабилизирует направление движения, фильтрует «помехи», позволяет иногда получать направление движения вдоль «оврага» [1, 2].

Для формирования задачи (4) – (6) целесообразно брать усредненный по всем предыдущим итерациям вектор Ψ^s [3]:

$$\bar{\Psi}^s = \frac{1}{1+s} \sum_{r=0}^s \Psi^r = \frac{s}{1+s} \bar{\Psi}^{s-1} + \frac{1}{1+s} \bar{\Psi}^s. \quad (7)$$

Обозначим $\bar{x}$ – решение задачи (4) – (6).

Для решения задачи (4) – (6) поиска направления изменения оптимизируемой величины необходимо определить значения параметра ϕ , задающего пределы вариации x , в которых не изменится вектор двойственных оценок. Согласно требованиям к реализации стохастического метода линеаризации применительно к поставленной задаче, значение ϕ должно быть таким, что при достижении (приближении) x верхней границы области определения, величина отрезка

$$[(1 - \phi)x; (1 + \phi)x] \quad (8)$$

не превышала десяти процентов от максимального значения мощности, определяемого в соответствии с суточным графиком нагрузки за последний период, т.е. не превышал 300 кВт.

При стремлении x к нижней границе области поиска решений длина отрезка (8) стремится к 0, поэтому для ускорения поиска оптимального решения задачи можно корректировать значение величины ϕ пропорционально изменению значения оптимизируемой величины. Как показали исследования (рис. 7), при значительном увеличении длины отрезка (8), сходимость улучшается, но данный подход противоречит смысловому содер-

жанию отрезка, как «задающего пределы вариации x , в которых не изменится вектор двойственных оценок» [3].

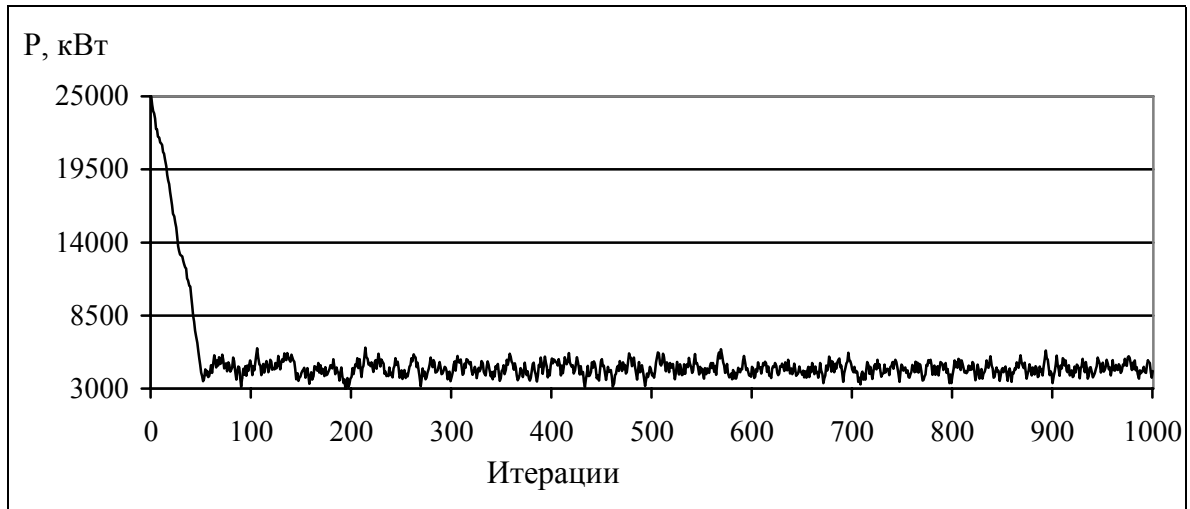


Рис.7. Изменение мощности источника питания x в процессе поиска при $\alpha = 400$ кВт

Если использовать вместо (6) соотношение $x - \alpha \leq x \leq x + \alpha$, где $\alpha = 300$ кВт, то оптимизируемая величина попадает в область оптимальных значений на 150-180 итерациях (рис. 8), что гораздо ранее, чем при регулировании длины отрезка (8) с помощью параметра ϕ .

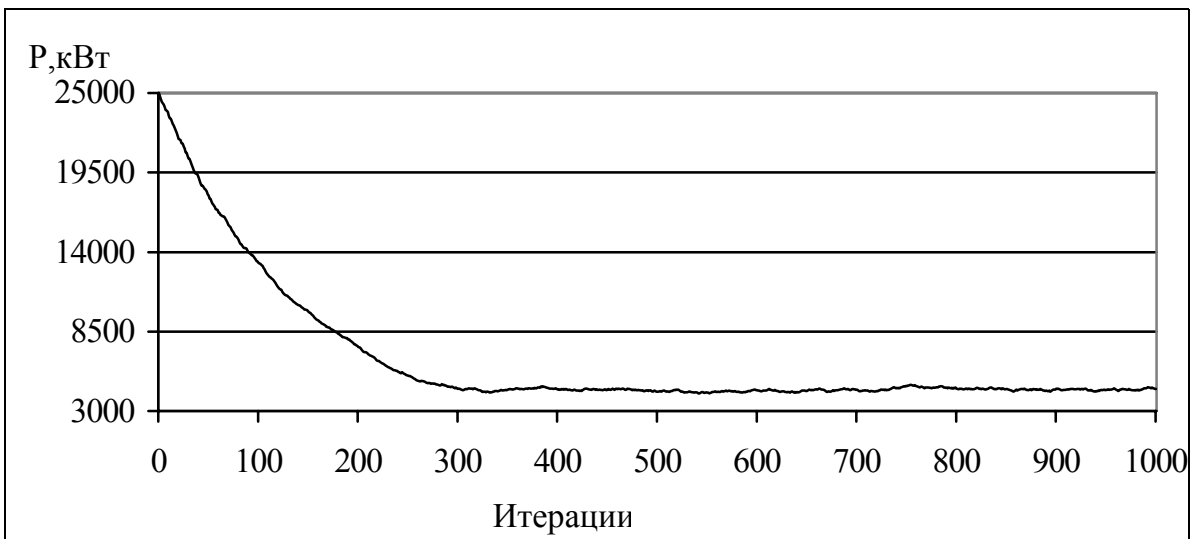


Рис.8. Изменение мощности источника питания x в процессе поиска при $\phi = 0,012$

Таким образом, от величины параметров α и ϕ зависит скорость сходимости и величина колебаний оптимизируемой величины (рис. 6-8). При уменьшении фиксированной длины отрезка α скорость сходимости замедляется, но уменьшаются колебания оптимизируемой величины (рис. 6, 7). Поэтому был принят вариант определения отрезка по формуле (8) через параметр ϕ , равный 0,012. Процесс оптимизации мощности источника питания см. на рис. 8.

Изменения мощности x в задаче (4) – (6) на отрезке (8) осуществляют-

ся с шагом, величина которого равномерно распределена на отрезке [10,30].

Выбор величины шага связан с тем, что если оптимальное значение мощности x будет стремиться к нижней границе области допустимых значений, то величина отрезка (8) не будет превышать 75 кВт. Следовательно, величина шага должна быть соизмерима с минимально возможным значением длины рассматриваемого отрезка.

Шаг 5. Строим новый вектор стратегий

$$x^s = x^{s-1} + \rho^{s-1} \left(\bar{x}^{s-1} - x^{s-1} \right), \quad (9)$$

где шаговый множитель, подчиняющийся условиям:

$$\sum_{s=0}^{\infty} \rho^s = \infty; \quad \sum_{s=0}^{\infty} (\rho^s)^2 < \infty; \quad 0 < \rho^s < 1; \quad (10)$$

Параметр ρ_s , в силу случайного характера поиска, моделируется не как константа, а как случайная величина, равномерно распределенная на отрезке [0,1], что позволяет выходить из локальных экстремумов при поиске оптимального решения [12].

Если значения параметра ρ^s соответствуют требованиям (10), а ущербы от недопоставки электроэнергии рассматриваются как величины, соответствующие по категории надежности электроснабжения, то при реализации стохастического метода линеаризации, оптимизируемая величина не выходит за пределы установленной области определения (рис. 9). В противном случае оптимизируемая величина может выходить из области определения.

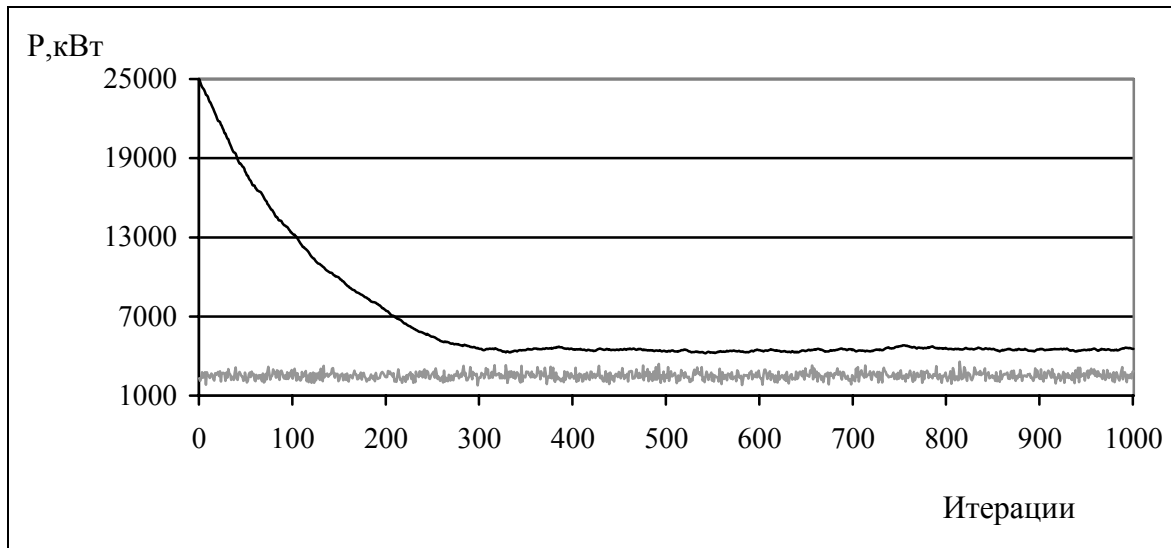


Рис.9. Динамика соотношения оптимизируемой мощности источника питания x и величины суммарной мощности электроприемников I категории:

- — оптимизируемая величина мощности;
- — мощность электроприемников I категории

Шаг 6. Проверяем принадлежит ли x области

$$P_l(\omega) < P < P_{np}, \quad (11)$$

где $P_l(\omega)$ – расчетная мощность электроприемников I категории; ω – вектор случайных величин множества случайных системных ситуаций Ω ,

$\omega \in \Omega$, Ω – конечномерное множество; P_{np} – проектная мощность электроприемников шахты.

Если x удовлетворяет условию (11), то выполняется шаг 7, а если нет, то с учетом [11], где рекомендуется при выходе оптимизируемой величины в процессе реализации градиентных методов за пределы области, искомой величине присваивать любое значение из этой области, оптимизируемой величине присваивается значение суммарной мощности электроприемников первой категории на данном шаге.

Шаг 7. Проверка окончания процесса оптимизации

В силу особенностей поведения целевой функции даже при постоянном значении искомой величины x , представленной на рис. 1, 2, существующие критерии окончания процесса оптимизации [1,4] не позволяют определить оптимальное значение, что потребовало обоснования нового способа определения окончания процесса оптимизации.

Окончание процесса оптимизации можно характеризовать по математическому ожиданию оптимизируемой величины x , задав интервал точности решения (50 кВт). Этот способ в данной задаче при начальной точке поиска решения $x^0 = 25000$ кВт позволяет определить сходимость, когда число итераций превышает 20000. При начальной точке поиска решения $x^0 = 6000$ кВт математическое ожидание x на 316-й итерации соответствует 4624 кВт, на 816-й итерации – 4547 кВт, а на 3000-й – 4514 кВт.

В работе [4] отмечалось, что в процессе оптимизации на основе стохастического метода линеаризации при реализации более 50000 итераций процесс начинает «разбалтываться». Как показали программные расчеты, оптимальное значение мощности достигается к 280-320 итераций (рис. 10) и значительно не изменяется до 65000 итераций.

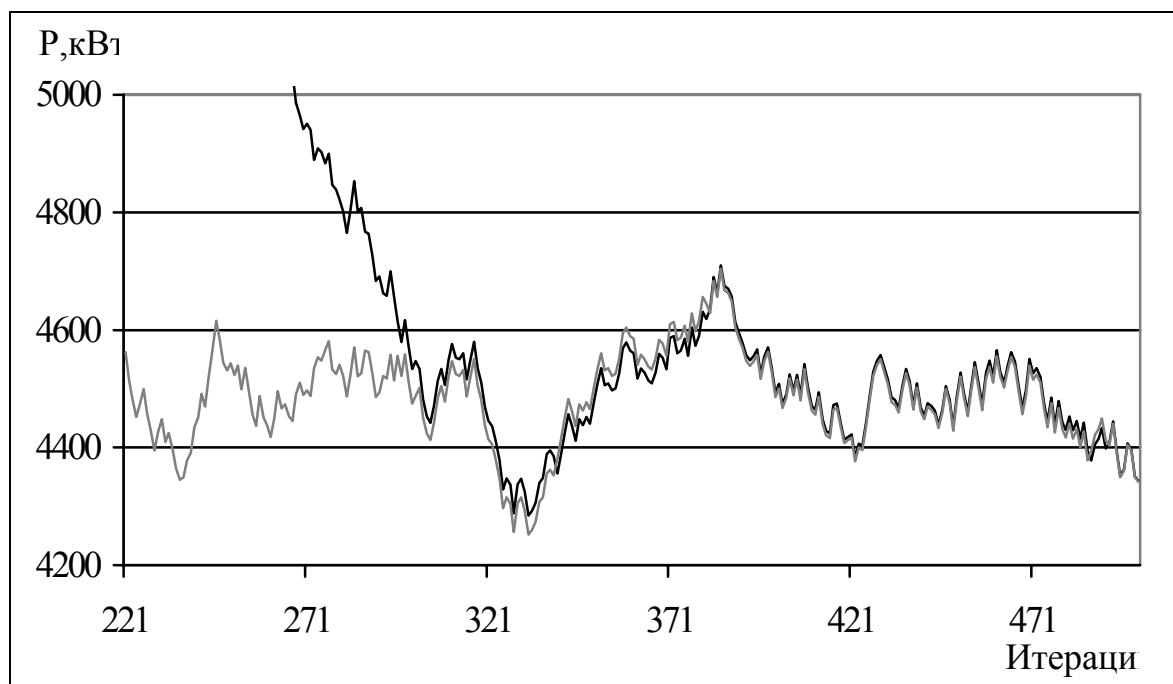


Рис.10. Фрагмент изменения мощности источника питания x в процессе одновременного поиска с различных начальных точек $x^0 = 3000$ кВт и $x^0 = 25000$ кВт:

- — начальная точка поиска 25000 кВт;
- — начальная точка поиска 3000 кВт

Выводы:

1. Применение стохастического метода линеаризации в задаче оптимизации источника питания с учетом особенностей объекта моделирования позволяет получить приемлемый по скорости сходимости алгоритм оптимизации.

2. Особенности технологии и режимов работы оборудования моделируемого объекта определяют значения параметров стохастического метода линеаризации.

3. Выполнение изложенных в работе требований к реализации стохастического метода линеаризации позволяет добиться сходимости процесса на 280-320 итерациях.

Литература

1. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1976. – 239 с.
2. Ермольев Ю.М., Ястремский А.И. Стохастические модели и методы в экономическом планировании. – М.: Наука, 1979. – 253 с.
3. Кардаш В.А. Использование условий инвариантности стратегий в одной эффективной процедуре прямого метода стохастического программирования // Изв. вузов: Электромеханика, 1993. – № 1. – С. 86-90.
4. Кардаш В.А., Плющев Д.Б. Экономическая оптимизация стохастических систем в электроэнергетике. – Новочеркасск: НГТУ, 1997. – Деп. в ВИНТИ 11.12.97, № 3610-В 97. – 106 с.
5. Кравченко О.А., Павленко В.И. Производственная мощность и экономические показатели угольной шахты // Экономические реформы в России: Сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., 25-27 апреля 2001г. – СПб.: Изд-во СПб ГТУ, 2001. – С. 298-304.
6. Кравченко О.А. Решение задач оптимизации затрат по добыче угля методами стохастического программирования // Математические методы и компьютеры в экономике: Сб. материалов II Междунар. науч. конф., 24-25 мая 1999г. – Пенза, 1999. – С. 93-95.
7. Кравченко О.А. Особенности моделирования функционирования системы электроснабжения угледобывающего предприятия при оптимизации ее пропускной способности // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., 11 апреля 2001 г., г. Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла», 2001. – Ч. 5-6. – С. 19-23.
8. Надтока И.И., Кравченко О.А. Разработка системы моделей оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 20 сент. 2002 г.: В 4 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: НПО «Темп», 2002. – Ч. 4. – С. 9-16.
9. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. – СПб.: Деан, 2000. – 926 с.
10. Шрамко В.М. Производственные мощности угольных шахт и их использование. – М.: Недра, 1991. – 132 с.
11. Юдаев Г.С. Алгоритмы и программы нелинейной оптимизации. – Новочеркасск, 1992. – 203 с.
12. Ястремский А.И. Стохастические модели математической экономики. – Киев: Высш. шк., 1983. – 127 с.

УДК 338.27 (075)+330.43 (075.8)

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И БЕЗРАБОТИЦЫ: ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

С.В. Арженовский, Т.Г. Кравцова

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Представлены результаты эконометрического анализа взаимосвязанных временных рядов индекса промышленного производства и уровня безработицы для России.

1. Актуальность задачи. Динамика показателей развития экономики страны, тенденции и закономерности этого развития могут быть проанализированы с помощью данных макроэкономической статистики. Выявление трендов и зависимостей, их изучение и прогнозирование, и на этой основе выработка рекомендаций для проведения макроэкономической политики, составляет суть задачи статистического анализа макроэкономики. В странах с развитыми экономиками анализу макроэкономических данных уделяется много внимания. Общепринятой практикой является анализ, моделирование и прогнозирование временных рядов макроэкономических показателей в их взаимосвязи друг с другом и использование результатов моделирования при принятии макроэкономических решений [2]. В России же использование мирового опыта в этой области не носит пока заметных масштабов. Освоение методов, успешно применяющихся в странах с рыночными экономиками для моделирования динамики макроэкономических показателей и служащих для поддержки принятия решений при выработке экономической политики, позволит не только более успешно прогнозировать изменения основных макроэкономических параметров, но и приблизиться к мировым стандартам формирования экономического курса. В этой связи актуально применение эконометрических моделей и методов для анализа макроэкономических процессов Российской Федерации. В данной работе авторы сосредоточились на исследовании выпуска промышленной продукции и безработицы в их взаимосвязи.

2. Информационная база. Использованы помесечные статистические данные по макроэкономическим показателям: индекс промышленного производства и уровень безработицы (рассчитанный по методике Международной организации труда) – для Российской Федерации за период с января 1991 года по январь 2001 года. Информация доступна в базах данных «Обзор российской экономики» (Russian Economic Trends, RET), разрабатываемых Российско-европейским центром экономической политики (РЕЦЭП) в сотрудничестве с Рабочим центром экономических реформ при Правительстве Российской Федерации.

3. Основная модель. Для изучения взаимосвязанных рядов динамики индекса промышленного производства и уровня безработицы применим эконометрическое моделирование. Наиболее адекватным инструментарием для моделирования динамики взаимосвязанных временных рядов являются

модели векторной авторегрессии (VAR-модели) [1]. Нами были оценены две VAR-модели: для всего периода наблюдений и для периода после кризиса августа 1998 года.

Постулируем модель для всего периода наблюдений:

$$\left. \begin{aligned} Y_t &= \beta_{10} + \beta_{11}Y_{t-1} + \beta_{12}Y_{t-2} + \beta_{13}\Delta UN_{t-1} + \beta_{14}\Delta UN_{t-2} + u_{1t} \\ \Delta UN_t &= \beta_{20} + \beta_{21}Y_{t-1} + \beta_{22}Y_{t-2} + \beta_{23}\Delta UN_{t-1} + \beta_{24}\Delta UN_{t-2} + u_{2t} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где Y_t – индекс промышленного производства в периоде t ; ΔUN_t – первая разность уровня безработицы; Y_{t-1} и Y_{t-2} – лаги индекса промышленного производства первого и второго порядка соответственно; ΔUN_{t-1} и ΔUN_{t-2} – лаги первой разности уровня безработицы первого и второго порядка соответственно; β_{10} и β_{20} – константы; u_{1t} , u_{2t} – случайные ошибки.

Модель (1) представляет собой одновременную зависимость текущих значений индекса промышленного производства и первой разности уровня безработицы от их лагированных значений, т.е. предполагается авторегрессионная зависимость для двумерного временного ряда.

Модель для подвыборки с августа 1998 г. по январь 2001 г.:

$$\left. \begin{aligned} Y_t &= \beta_{10} + \beta_{11}Y_{t-1} + \beta_{12}Y_{t-2} + \beta_{13}UN_{t-1} + \beta_{14}UN_{t-2} + \beta_{15}T + u_{1t} \\ UN_t &= \beta_{20} + \beta_{21}Y_{t-1} + \beta_{22}Y_{t-2} + \beta_{23}UN_{t-1} + \beta_{24}UN_{t-2} + \beta_{25}T + u_{2t} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где UN_t – уровень безработицы; UN_{t-1} и UN_{t-2} – лаги первого и второго порядка уровня безработицы; T – линейный тренд; u_{1t} , u_{2t} – случайные ошибки.

Как видно, модели (1) и (2) отличаются друг от друга представлением одной из зависимых переменных и включением в состав регрессоров линейного тренда.

4. Спецификация и интерпретация модели. Нами построены две модели векторной авторегрессии: для полной выборки (1) и для подвыборки после экономического кризиса в августе 1998 года (2).

Результаты оценивания модели векторной авторегрессии (1) для временных рядов индекса промышленного производства и безработицы с января 1992 по январь 2001 гг. представлены в таблице 1. В спецификацию оцениваемого уравнения были включены лаги первого и второго порядков. Так как для всего периода наблюдений временной ряд уровней безработицы не является стационарным (статистика теста Дики-Фуллера для индекса промышленного производства равна -3,07; для уровня безработицы: -1,25), то в уравнении была использована первая разность ряда. Полученные регрессионные уравнения (табл. 1) статистически значимы в целом. Значения коэффициентов детерминации удовлетворительны. Отмечается положительная зависимость между индексом промышленного производства и его лагом первого порядка, а также лагом второго порядка уровня безработицы, и отрицательная – между индексом промышленного производства и лагом первого порядка безработицы. Также имеется положительная зависимость между уровнем безработицы и его лагами первого и второго по-

рядка, и отрицательная – между уровнем безработицы и лагом первого порядка индекса промышленного производства.

Таблица 1

Результаты оценивания VAR-модели, полная выборка

Регрессоры	Зависимые переменные	
	Y	ΔUN
Y_{t-1}	0,961 ^{***} (9,63)	-0,003 (-0,71)
Y_{t-2}	-0,018 (-0,19)	0,003 (0,80)
ΔUN_{t-1}	-1,139 (-0,54)	0,613 ^{***} (6,09)
ΔUN_{t-2}	0,389 (0,19)	0,041 (0,42)
Константа	6,036 ^{***} (2,78)	-0,016 (-0,15)
R^2 скорректированный	0,958	0,414
F -статистика	602,035	19,585
Информационный критерий Акаике: 4,847		
Критерий Шварца: 5,098		

Примечание: *** – коэффициент статистически значим при 1% уровне значимости, ** – 5% уровень значимости, * – 10% уровень значимости; t – статистики в круглых скобках. $N=106$.

Таким образом, рост промышленного производства в прошлом периоде значимо определяет его рост в текущем периоде на фоне снижения безработицы. Увеличение же уровня безработицы в прошлом периоде снижает уровень производства в текущем периоде. Увеличение роста безработицы в прошлых периодах обуславливает ее рост в текущем месяце. Все регрессоры в двух уравнениях имеют противоположные знаки, помимо лага второго порядка уровня безработицы, коэффициенты которого имеют положительный знак в обоих уравнениях. Отметим значимость свободного члена в уравнении для индекса промышленного производства, что означает сдвиг кривой выравненных значений относительно начала координат.

Корреляция остатков в уравнениях построенной модели незначительная ($r=-0,14$). Графики остатков показывают отсутствие каких-либо тенденций в рядах и визуально аналогичны "белому шуму".

Исследование модели проведем путем расчета функций реакции на импульсы и разложения дисперсий. Функции реакции на импульсы описывают реакцию прогноза одной переменной на единичную ошибку в прогнозе другой переменной. Это позволяет оценить и степень взаимного

влияния исследуемых временных рядов. Функции реакции на импульсы (шоки) для оцененной VAR-модели (табл. 1) представлены на рис. 1-4.

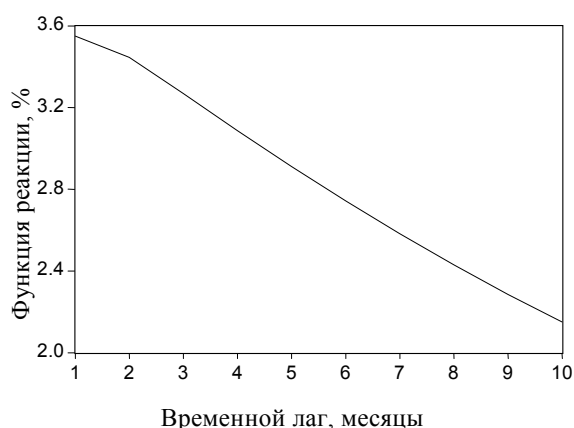


Рис.1. Функция реакции индекса промышленного производства на единичный шок индекса промышленного производства

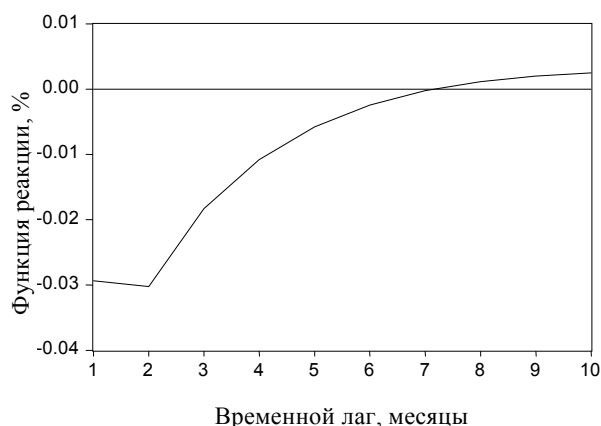


Рис.2. Функция реакции уровня безработицы на единичный шок индекса промышленного производства

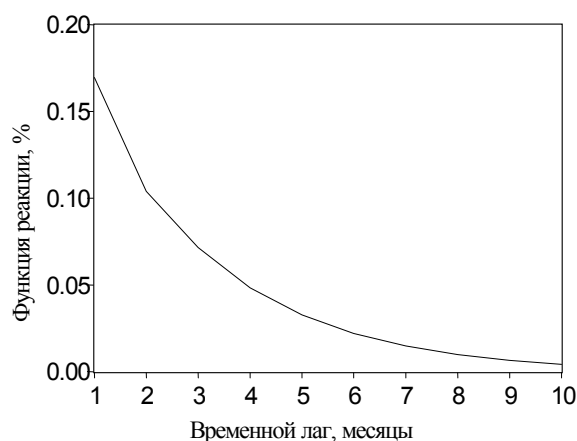


Рис.3. Функция реакции уровня безработицы на единичный шок уровня безработицы

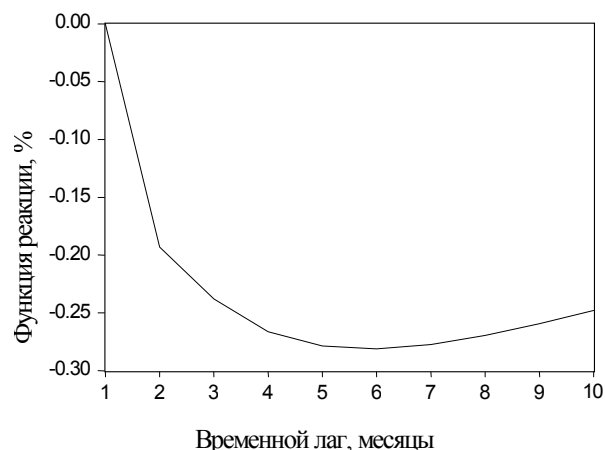


Рис.4. Функция реакции индекса промышленного производства на единичный шок уровня безработицы

Вид графиков на рис. 1-4 позволяет сделать вывод о том, что после единичного шока любой из зависимых переменных возврат в положение равновесия происходит в течение достаточно длительного периода, следовательно, подтверждается факт взаимозависимости/взаимосвязи уровня безработицы и индекса выпуска промышленной продукции.

Разложение дисперсий ошибок прогнозов также свидетельствует о существенности взаимосвязи между переменными (табл. 2). При увеличении горизонта прогнозирования дисперсия прогноза увеличивается. Разложение дисперсии показывает, какой процент дисперсии прогноза по VAR-модели приходится на каждую из прогнозируемых переменных. Из табл. 2 видно, что в разложении дисперсии индекса промышленного производства прирост уровня безработицы играет незначительную роль - до 0,05%. Однако в разложении дисперсии для уровня безработицы доля индекса промышленного производства заметнее - около 3%. Т.е. изменение

прогноза индекса промышленного производства существеннее сказывается на изменении прогноза уровня безработицы, нежели наоборот.

Таблица 2

Разложение дисперсий прогнозов для модели, представленной в табл. 1

Горизонт прогноза	Стандартная ошибка прогноза	Разложение дисперсии, %	
		индекс промышленного производства	безработица
Разложение дисперсии прогноза для уравнения индекса промышленного производства			
1	3,540	100,000	0,000
2	4,922	99,993	0,006
3	5,927	99,985	0,014
4	6,732	99,976	0,023
5	7,404	99,969	0,030
6	7,982	99,963	0,036
7	8,486	99,959	0,040
8	8,931	99,955	0,044
9	9,328	99,952	0,047
10	9,684	99,949	0,050
Разложение дисперсии прогноза для уравнения безработицы			
1	0,168	2,104	97,895
2	0,196	2,330	97,669
3	0,204	2,527	97,472
4	0,207	2,693	97,306
5	0,209	2,829	97,170
6	0,209	2,943	97,056
7	0,209	3,040	96,959
8	0,209	3,125	96,874
9	0,209	3,200	96,799
10	0,210	3,269	96,730

По нашему мнению, интерес представляет анализ взаимосвязи индекса промышленного производства и безработицы после "черного" августа 1998 г., когда негативные тенденции в экономике, спад деловой активности продолжались продолжительное время. Выборка содержит наблюдения за период с августа 1998 г. по январь 2001г. На этом участке выборки тенденции изменения уровней временных рядов значительно отличаются от тенденций, преобладающих на протяжении всей выборки, что представляет интерес для отдельного его исследования. Для указанного периода времени оба временных ряда можно считать стационарными (статистика теста Дики-Фуллера для индекса промышленного производства равна -3,0; для уровня безработицы -4,18), поэтому в модели использованы уровни рядов. Кроме того, в уравнения регрессии по каждому

показателю были включены линейный тренд и лаги второго порядка по каждой из переменных.

Поясним кратко отличия спецификации модели для подвыборки от спецификации модели для полной выборки. Во-первых, использование значений уровней ряда, которое обусловлено различиями в динамике рядов до августа 1998 г. и после этой даты, что проявляется в свойстве стационарности рядов на указанных временных промежутках. Во-вторых, включение в модель линейного тренда, что связано с наличием выраженной тенденции, прежде всего для ряда индекса промышленного производства. Результаты оценивания такой модели представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты оценивания VAR-модели
для части выборки**

Регрессоры	Зависимые переменные	
	Y	UN
Y_{t-1}	0,218 (1,04)	-0,003 (-0,17)
Y_{t-2}	0,003 (0,01)	-0,026 (-1,35)
UN_{t-1}	-1,882 (-1,36)	1,430*** (10,83)
UN_{t-2}	2,110* (1,74)	-0,639*** (-5,52)
Константа	-2,315 (-0,19)	5,021*** (4,40)
Тренд	0,891*** (3,13)	0,006 (0,24)
R^2 скорректированный	0,964	0,980
F -статистика	156,456	288,774
Информационный критерий Акаике: 4,050		
Критерий Шварца: 4,611		

Примечание: *** – коэффициент статистически значим при 1% уровне значимости, ** – 5% уровень значимости, * – 10% уровень значимости; t – статистики в круглых скобках. $N=30$.

Уравнения в табл. 3 являются значимыми по F -критерию. Доля объясненной факторами вариации равна 96% для уравнения индекса промышленного производства и 98% для уравнения уровня безработицы. Эти факты свидетельствуют о хорошем качестве построенной модели. Знаки коэффициентов при регрессорах обоих уравнений в основном совпадают со знаками в модели для всей выборки. Отметим положительную зависимость индекса уровня производства от значений второго лага безработицы и линейного тренда. Значения же безработицы определяются в основном лагированными значениями безработицы, коэффициенты при которых

имеют разные знаки, что свидетельствует о том, что уровень безработицы в текущий момент времени определяется по его уровню в краткосрочный – предыдущий момент времени.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о тесной взаимосвязи между показателями индекса промышленного производства и уровня безработицы.

Остатки в уравнениях регрессий (табл. 3) представляют собой "белый шум", значение коэффициента корреляция остатков уравнений ($r=0,02$), свидетельствует об их некоррелированности между собой. Функции реакции на шоки для оцененной VAR-модели представлены на рис. 5-8. Разложение дисперсий ошибок модели представлено в табл. 4.

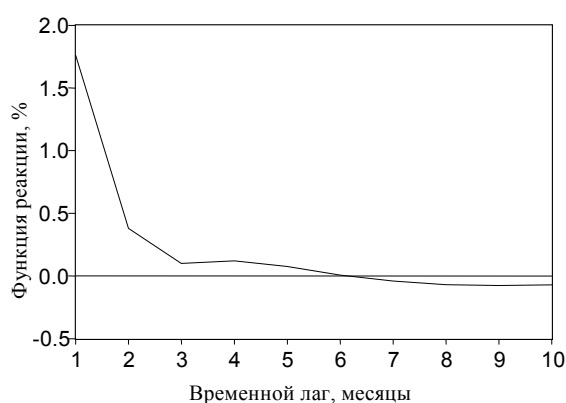


Рис.5. Функция реакции индекса промышленного производства на единичный шок индекса промышленного производства

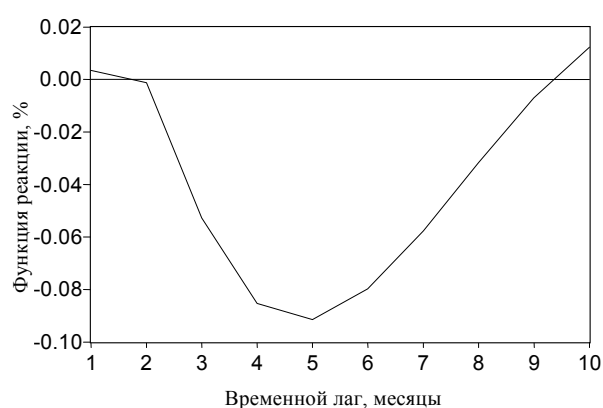


Рис.6. Функция реакции уровня безработицы на единичный шок индекса промышленного производства

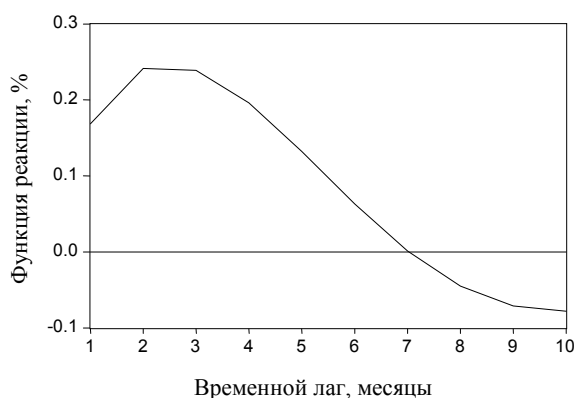


Рис.7. Функция реакции уровня безработицы на единичный шок уровня безработицы

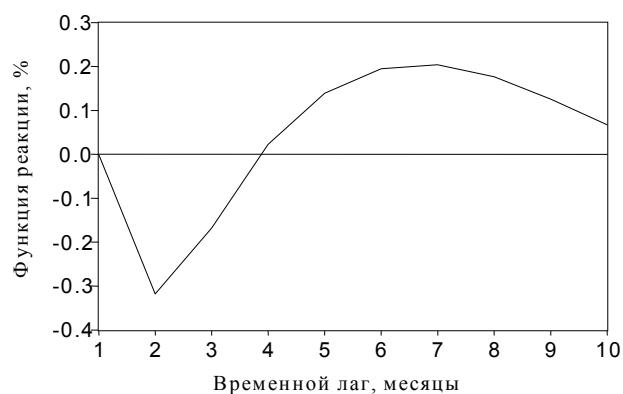


Рис.8. Функция реакции промышленного производства на единичный шок уровня безработицы

Разложение дисперсий прогнозов для модели, представленной в табл. 3

Горизонт прогноза	Стандартная ошибка прогноза	Разложение дисперсии, %	
		индекс промышленного производства	уровень безработицы
Разложение дисперсии прогноза для уравнения индекса промышленного производства			
1	1,761	100,000	0,000
2	1,830	96,983	3,016
3	1,840	96,184	3,815
4	1,844	96,186	3,813
5	1,851	95,652	4,347
6	1,861	94,601	5,398
7	1,873	93,478	6,521
8	1,882	92,663	7,336
9	1,888	92,263	7,736
10	1,891	92,157	7,842
Разложение дисперсии прогноза для уравнения уровня безработицы			
1	0,168	0,043	99,956
2	0,294	0,015	99,984
3	0,382	1,907	98,092
4	0,438	5,234	94,765
5	0,467	8,438	91,561
6	0,478	10,836	89,164
7	0,481	12,113	87,886
8	0,484	12,383	87,616
9	0,490	12,141	87,858
10	0,496	11,895	88,104

Из таблицы 4 видно, что в разложении дисперсии индекса промышленного производства на долю уровня безработицы приходится не более 7,8%, а в разложении дисперсии безработицы на долю индекса приходится до 12,4%. То есть изменения в прогнозе индекса промышленного производства существенно влияют на прогноз уровня безработицы, и наоборот.

Используем построенные модели векторной авторегрессии для прогнозирования. Были построены прогнозы на 1 шаг вперед для 2001 года. Для этого из совокупности наблюдений была выделена "экзаменационная" выборка фактических значений уровня безработицы и индекса промышленного производства. Результаты прогнозирования по модели (табл. 1) представлены в табл. 5. Результаты прогнозирования по модели для периода после кризиса 1998 года представлены в табл. 6.

Таблица 5

Прогнозы по модели векторной авторегрессии, представленной в табл. 1

Дата	Факт		Прогноз		Относительная ошибка прогноза, %	
	индекс пром. пр-ва	уровень безрабо- тицы	индекс пром. пр-ва	уровень безрабо- тицы	индекс пром. пр-ва	уровень безрабо- тицы
фев. 2001	120,702	9,9	119,525	9,882	0,97	0,18
март 2001	120,584	9,5	118,708	10,042	1,56	-5,71
апр. 2001	121,997	9	119,058	9,347	2,41	-3,86
май 2001	124,941	8,5	119,928	8,784	4,01	-3,35
июнь 2001	122,350	8,6	122,647	8,278	-0,24	3,74
июль 2001	123,646	8,6	119,852	8,740	3,07	-1,63
авг. 2001	125,530	8,6	121,799	8,671	2,97	-0,83
сен. 2001	124,470	8,7	123,512	8,667	0,77	0,37
окт. 2001	126,001	8,7	122,490	8,830	2,79	-1,50
нояб. 2001	126,590	8,8	124,126	8,765	1,95	0,40
дек.2001	124,117	9	124,548	8,923	-0,35	0,85

Таблица 6

Прогнозы по модели векторной авторегрессии, представленной в табл. 4

Дата	Факт		Прогноз		Относительная ошибка прогноза, %	
	индекс пром. пр-ва	уровень безрабо- тицы	индекс пром. пр-ва	уровень безрабо- тицы	индекс пром. пр-ва	уровень безрабо- тицы
1	2	3	4	5	6	7
январ. 2001	121,408	9,8	123,818	9,788	-1,98	0,12
фев. 2001	120,702	9,9	124,911	9,663	-3,49	2,38
март 2001	120,584	9,5	126,010	9,541	-4,50	-0,43
апр. 2001	121,997	9	127,114	9,418	-4,19	-4,65
май 2001	124,941	8,5	128,223	9,294	-2,63	-9,35
июнь 2001	122,350	8,6	129,335	9,169	-5,71	-6,62
июль 2001	123,646	8,6	130,450	9,041	-5,50	-5,13

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
авг. 2001	125,530	8,6	131,565	8,911	-4,81	-3,62
сен. 2001	124,470	8,7	132,679	8,779	-6,60	-0,92
окт. 2001	126,001	8,7	133,792	8,647	-6,18	0,60
нояб. 2001	126,590	8,8	134,902	8,515	-6,57	3,23
дек. 2001	124,117	9	136,011	8,383	-9,58	6,85

Как видно из табл. 6, отклонения прогнозных значений от фактических невелики, что свидетельствует о высокой точности прогнозов, и следовательно, адекватности построенных моделей.

Рассмотрим далее один из ключевых вопросов, возникающих при рассмотрении моделей векторной авторегрессии. Это проблема взаимного влияния изучаемых переменных. Воспользуемся для решения этой проблемы парным тестом обусловленности по Грэнжеру. Тестирование по Грэнжеру позволяет определить, насколько значения одного ряда могут быть объяснены с помощью предшествующих значений другого ряда. При этом не подразумевается, что один ряд является эффектом или результатом другого. Результаты тестирования представлены в таблице 7.

Таблица 7

Тест на обусловленность по Грэнжеру, полная выборка

Нулевая гипотеза	<i>F</i> -статистика	Число наблюдений 106
Y не обуславливает ΔUN	0,392	
ΔUN не обуславливает Y	0,176	

В табл. 7 в обоих случаях, исходя из значений критерия Фишера, есть основания для того, чтобы отвергнуть нулевую гипотезу. Таким образом, можно говорить о наличии двухсторонней обусловленности по Грэнжеру исследуемых рядов, т.е. информация о предшествующем состоянии прироста безработицы важна для прогноза динамики индекса промышленного производства, и наоборот. Математический аппарат теста не позволяет определить, что является причиной, а что следствием, не привлекая макроэкономическую теорию, то есть содержательную сторону вопроса.

Протестируем на обусловленность по Грэнжеру подвыборку, содержащую наблюдения после августа 1998 г. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8

Тест на обусловленность по Грэнжеру, подвыборка

Нулевая гипотеза	<i>F</i> -статистика	Число наблюдений 30
Y не обуславливает UN	8,298	
UN не обуславливает Y	1,050	

Результаты теста (табл. 8) несколько изменились по сравнению с представленными в табл. 7. Нет достаточных оснований отвергнуть нулевую гипотезу "уровень безработицы не обуславливает по Грэнжеру индекс промышленного производства", а гипотеза "индекс промышленного производства не обуславливает по Грэнжеру уровень безработицы", напротив, должна быть отвергнута. То есть информация о предыдущих значениях уровня безработицы обуславливает значения индекса промышленного производства, а предыдущая информация об индексе промышленного производства не помогает прогнозировать безработицу. Делая вывод о взаимосвязи безработицы и промышленного производства на основании анализа VAR моделей и результатов теста обусловленности по Грэнжеру, можно утверждать, что изменения в уровне промышленного производства влияют на уровень безработицы.

5. Выводы:

1. Индекс промышленного производства и уровень безработицы, рассчитанный по методологии МОТ, связаны друг с другом статистической зависимостью.

2. Учитывая, что зависимость безработицы и выпуска промышленной продукции является более сложной и опосредуется рядом других макроэкономических факторов, например, изменением платежеспособного спроса, можно утверждать, что исследуемая зависимость носит односторонний характер: изменения промышленного производства определяют изменения в уровне безработицы.

3. Под влиянием внешних шоков, подобных кризису августа 1998 г., изменения в индексе промышленного производства и уровне безработицы разнонаправленны, причем время реакции для указанных переменных различно, и определяется изолированно в зависимости от динамики экономики.

Литература

1. Hamilton, J.D. Time-Series Analysis. Princeton University Press, 1994.
2. Evans, G.W. Output and Unemployment Dynamics in the United States: 1950-1985. Journal of Applied Econometrics, Vol. 4, Issue 3, 1989.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-6-92, e-mail: kor@novoch.ru.

УДК 658.5:378.6

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЦЕЛЕВОЙ ПОДГОТОВКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

П.И. Канивец, А.Д. Руденко, Т.В. Канивец

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Предложены статистические оценки качества целевой подготовки специалистов при осуществлении входного, текущего и итогового контроля.

Высшая школа России ориентируется в своем развитии на качественную подготовку специалистов, отвечающую изменениям, происходящим на рынке труда. Показателями качественной подготовки специалистов можно принять два основных критерия: 1) количество времени, необходимое выпускнику вуза для адаптации на рабочем месте в соответствии со своей специальностью; 2) количество «родственных» (смежных) проблем и задач, которые выпускник может решать без значительных затрат времени и сил на их освоение.

В качестве организационно-экономического механизма стратегического взаимодействия работодателей и образовательных учреждений в процессе подготовки конкурентоспособных специалистов ЮРГТУ (НПИ) создает систему целевой (адаптивной контрактной) подготовки специалистов [1].

В рамках данной системы заказчиками на образовательные услуги выступают:

- государство (стандарт на специалиста);
- производство (требуемая квалификация специалиста);
- гражданин (выбор специальности, конкурсный выбор целевой подготовки, персональные потребности).

Заказом на подготовку выступает квалификационная характеристика (профессиограмма), которая включает в себя требования стандарта специальности, дополненные требуемыми квалификационными качествами предприятия-заказчика. Это требуемое нормативное качество специалиста целевой подготовки. Реальное качество подготовки может соответствовать, а может и не соответствовать профессиограмме.

Для реализации системы адаптивной контрактной подготовки специалистов разрабатывается инструментарий решения ряда задач:

1. Методы формирования модели специалиста (требуемых знаний, навыков, умений) предприятием-работодателем.
2. Методы отбора кандидатов (входного контроля) в группу целевой подготовки.
3. Методы адаптации (корректировки) учебных планов, рабочих программ в соответствии с требованиями заказчика.
4. Методы текущего и итогового контроля уровня и качества подготовки специалистов.
5. Методы оценки конкурентоспособности специалистов и экономической оценки эффективности целевой подготовки специалистов для образовательного учреждения и предприятия заказчика.
6. Комплекс нормативно-правовых документов, регламентирующих взаимоотношения предприятия-заказчика и образовательного учреждения.

Формализация оценок качества подготовки специалистов при осуществлении входного, текущего и итогового контроля потребовала осуществить системное моделирование целевой подготовки специалистов, в результате которого были выявлены переменные качества подготовки специалистов и системные модели их преобразования [2].

В данной системной модели системы целевой подготовки специалистов, в качестве переменной преобразования, отражающей процессы изменения состояния обучаемого (студента) и превращения его в специалиста с требуемым уровнем квалификационной компетенции, принят вектор переменных, характеризующих знания, навыки, умения, способности, личностные качества будущего специалиста.

Решение задач входного, текущего и итогового контроля качества подготовки специалистов в контексте соответствия вектора переменных, характеризующих состояние качества подготовки специалистов сводится к установлению соответствия оценок переменных требуемым уровням. Рассмотрим методы решения задач входного, текущего и итогового контроля качества подготовки специалистов.

1. Входной контроль. Входной контроль при реализации целевой подготовки специалистов осуществляется с целью отбора обучаемых (студентов) или специалистов (при повышении квалификации или переподготовке), направленных в группу целевой подготовки.

Цель входного контроля – определить уровень подготовленности обучаемого, его потенциальные возможности усвоить программу целевой подготовки, определить личностные качества в соответствии с требованиями заказчика, изложенными в профессиограмме. Отбор претендентов предполагает определение соответствия уровня подготовленности желаемому уровню и выбор наиболее отвечающих этому требованию [3].

Формирование желаемых оценок качеств можно осуществить методом экспертных оценок или методом максимальных оценок претендентов.

В первом случае эксперты – специалисты предприятия – заказчика анализируют должностные обязанности будущих специалистов (вакантных рабочих мест), определяют набор желаемых характеристик и необходимую степень их выраженности у обучаемых, формируя вектор желаемых оценок $X_m^{ЖЕЛ}$ и вектор пороговых оценок $X_m^{ПОР}$ по всем требуемым качествам - характеристикам будущей должности $m = \overline{1, M}$.

Во втором случае вектор желаемых оценок формируется на основе фактических оценок претендентов в результате тестирования, контрольных заданий, самооценки претендентов.

Отбор претендентов осуществляется по алгоритму:

– получение векторов оценок качеств претендентов

$$X_{im}^{ОБУЧ} \in \begin{cases} i = \overline{1, T} \\ m = \overline{1, M} \end{cases}$$
 на основе тестирования, контрольных заданий, собеседования, где T – количество претендентов, M – количество качеств;

– отсев тех кандидатов на целевую подготовку, у которых уровень подготовки ниже порогового значения $X_m^{ПОР}$, хотя бы для одного качества;

– отбор среди оставшихся претендентов осуществляется методом многомерного шкалирования, на основе модели Торгерсона – минимума

евклидова расстояния между желаемыми и фактическими оценками, определяемого по формуле

$$\rho_i = \sqrt{\sum_m^M W_m (X_m^{ЖЕЛ} - X_{im}^{ОБУЧ})^2},$$

где W_m – весовые коэффициенты качеств специальности целевой (контактной) подготовки, определяемых, например, методом ранжирования [4]; $i = \overline{1, T_1}$. T_1 – количество претендентов, все качества которых выше порогового уровня.

На основе евклидова расстояния можно построить профиль сильных и слабых сторон претендентов, позволяющих учитывать индивидуальные особенности обучаемых в процессе целевой подготовки.

После вычисления расстояний ρ_i , проводится их упорядочивание. В группу целевой подготовки проходят первые L претендентов, у которых минимальное евклидово расстояние ($\min \rho_i$) между оценками.

2. Текущий контроль. При осуществлении учебного процесса возможно отклонение в усвоении знаний, овладении умениями, развитии личностных качеств. Поэтому необходимо осуществлять мониторинг (текущий контроль) результатов учебного процесса, т.е. регулярное отслеживание качества усвоения знаний, навыков и развитие личностных качеств.

В качестве инструмента оценки качества текущего контроля используется модифицированная методика [5], позволяющая осуществлять оценку результатов учебной деятельности студентов по каждой отдельной дисциплине и осваиваемых в течение семестра. В основе данной методики лежит:

- мера «стоимости» контрольного мероприятия, определяемая трудоемкостью мероприятия $Si = S_n * Ni$, где S_n – трудоемкость учебной недели, Ni – продолжительность i -го интервала между контрольными мероприятиями;

- шкала оценки усвоения знаний, навыков студентов, варьируемая в интервале $C_i^{\max} - C_i^{\min}$ и выбираемая для i -го контрольного мероприятия;

- модели пересчета полученной студентом оценки C_i в баллы, рейтинг мероприятия и суммарный рейтинг, определяемых соответственно по формулам:

$$B_i = \frac{C_i - C_i^{\min}}{C_i^{\max} - C_i^{\min}} S_i, \quad R_{Ti} = \sum_{j=1}^m B_{ji}, \quad R_H = \sum_{i=1}^n R_{Ti}$$

- построение полигонов распределения баллов среди обучаемых, средних оценок качества изучения дисциплин и полигона распределения дисперсии оценок, позволяющих определять трудно усваиваемые дисциплины и степень неравномерности усвоения студентами внутри дисциплины;

- пересчет итогового рейтинга в дифференцированную оценку по формулам:

$$C_H(R_H) = \text{Round}\left(\frac{3R_H}{S_K} + 2\right), \quad (1)$$

$$C_H(R_H) = \text{Round}(-0,10474 + 5,104737 \sqrt{\frac{R_H}{S_K}}),$$

$$C_H(R_H) = \text{Round}(-0,31961 + 1,956977 e^{\frac{R_H}{S_K}}),$$

позволяющим менять мотивацию студентов, настраивать на разные требования качества обучения. Например, пересчет по формуле (1) предъявляет студенту стандартные требования отношения R_H / S_K и пятибалльной шкалы: [0-0,17] – неуд., [0,18-0,50] – удовл., [0,51-0,83] – хор., [0,84-1,0] – отл., а следующие функции пересчета предъявляют, соответственно, более «мягкие» или более «жесткие» условия получения высоких баллов.

3. Итоговый контроль. После завершения процесса обучения возникает задача установления соответствия уровня знаний, навыков, умений по дисциплинам, зафиксированным в государственном стандарте специальности и соответствия качества подготовки требованиям предприятия-заказчика.

Для оценки уровня подготовленности специалиста в соответствии с требованиями квалификационной характеристики из государственного стандарта нами предлагается тестирование, результаты которого обрабатываются методами IRT – математической теории параметрической оценки испытуемых и заданий [6]. В основе методов IRT лежит латентно-структурный анализ, согласно которому между наблюдаемым результатом выполнения теста и латентным параметром испытуемых есть некоторая зависимость, которую можно выразить с помощью функции успеха:

$$p = p(s, t),$$

где s – уровень подготовленности участника тестирования, t – трудность тестового задания, p – вероятность правильного выполнения задания.

В качестве функции успеха нами использована однопараметрическая модель Раша, имеющая вид

$$p = p(s, t) = \frac{s}{s + t} \text{ или в логарифмическом масштабе } p = \frac{1}{1 + e^{-(\Theta - \delta)}},$$

где p – вероятность того, что участник тестирования с уровнем подготовленности Θ правильно выполнит задание трудности δ .

Система тестирования на основе модели Раша обладает важными особенностями:

1. Модель Раша превращает измерения, сделанные в дихотомических и порядковых шкалах в линейные измерения, в результате качественные данные анализируются с помощью количественных методов. Это позволяет использовать широкий спектр статистических процедур.

2. Оценка уровня знаний испытуемых не зависит от используемого набора тестовых заданий и, наоборот, оценка трудности тестовых заданий не зависит от выборки испытуемых.

3. Система тестирования достаточно проста и характеризуется наименьшим числом параметров – только один параметр уровня знаний для каждого испытуемого и только один параметр трудности для каждого задания.

4. Модель Раша опирается на четкие и конструктивные понятия «трудность задания» и «уровень знаний».

5. Благодаря простой структуре модели существуют удобные вычислительные процедуры для многоаспектной проверки адекватности модели.

Рассмотрим схему тестирования:

1. Каждому участнику с различной подготовленностью Θ_i , $i = \overline{1, L}$ предлагается один и тот же вариант теста, состоящий из k заданий различной трудности δ_j , $j = \overline{1, k}$.

2. Результаты выполнения задания оцениваются по дихотомному принципу (1/0), формируя прямоугольную матрицу $A=(a_{ij})$ размерностью $L \times k$.

3. Для обработки результатов тестирования формируются статистики:

$$\begin{aligned} b_i^* &= M\{b_i\} \equiv \sum_{j=1}^k p_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, L; \\ c_j^* &= M\{c_j\} \equiv \sum_{i=1}^L p_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, k; \\ b_i^* - \sum_{j=1}^k p_{ij} &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, L; \\ c_j^* - \sum_{i=1}^L p_{ij} &= 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \end{aligned} \quad (2)$$

где p_{ij} – вероятность верного выполнения i -м участником j -го задания; b_i , b_i^* – соответственно, количество верно выполненных заданий i -м участником (первичный балл, математическое ожидание); c_j , c_j^* – соответственно, количество верно выполнивших участников j -е задание (первичный балл, математическое ожидание).

4. Решаем систему нелинейных уравнений (2) и находим искомые параметры:

Θ_i – уровень подготовленности i -го испытуемого;

$\overline{\Theta}_{н.в.}$ – средневзвешенное значение подготовленности испытуемых;

$\sigma(\Theta)$ – среднеквадратическое отклонение подготовленности испытуемых от нормативной выборки;

$\Theta_{\max}$, $\Theta_{\min}$ – соответственно, максимальные и минимальные уровни подготовленности испытуемых.

5. Осуществляем пересчет уровня подготовленности участников тестирования в логитах на любую другую шкалу с помощью линейных преобразований, не нарушающих метричность шкалы. Например, пересчет на пятибалльную шкалу осуществляется по формуле

$$\begin{aligned} B_i &= 3.5 + \frac{3.5}{t\sigma}(\Theta_i - \overline{\Theta}_{н.в.}) \text{ или} \\ B_i &= 3.5 + \frac{3.5}{(\Theta_{\max} - \Theta_{\min.})}(\Theta_i - \overline{\Theta}_{н.в.}). \end{aligned}$$

В работе показано, что полученные оценки являются состоятельными, несмещенными и эффективными.

В качестве интегрального показателя качества целевой подготовки специалистов Q , свидетельствующего о том, насколько качество подготовки удовлетворяет требованиям заказчика, используется аддитивно взвешенная оценка

$$Q = \sum_{n=1}^N w_n \frac{\bar{C}_n}{X_n^{TP}},$$

где $\bar{C}_n$ – вектор фактических усредненных оценок качества подготовки специалистов; X_n^{TP} – вектор требуемых оценок качества подготовки.

Выводы:

– Для реализации предложенных методов статистической оценки качества подготовки специалистов разработана программа «Входной контроль» в среде программирования DELPHI 6.0.

– Для осуществления текущего контроля используется система СКАТ, для обработки результатов тестирования – MS Excel 2002.

– Разработана программа «Итоговый контроль» в среде программирования DELPHI 6.0 с удобной для пользователя оконной технологией.

Разработанный инструментарий статистической оценки качества целевой подготовки специалистов осуществлен на лабораторных данных и предложен к использованию в учебном процессе.

Литература

1. Сербиновский Б.Ю., Ткачев А.Н., Канивец П.И. Организационно-экономический механизм реализации концепции стратегического партнерства по подготовке конкурентоспособных специалистов предприятия. // Организация и управление производственностью производственных систем: Междунар. дистанц. науч.-практ. конф. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. – С. 71-84.
2. Канивец П.И. Системное моделирование целевой системы подготовки специалистов // Отчет по проекту: «Разработка научных основ и нормативно-правовой базы модернизации университетов путем создания университетских комплексов и исследовательских университетов». Подраздел 8.5. Системное моделирование целевой подготовки специалистов ЮРГТУ (НПИ), 2001.
3. Канивец П.И., Ставров Е.В. Разработка системы отбора и назначения претендентов на вакантную должность // Проблемы экономики и организации производственных систем: Тезисы докладов и краткие сообщения Всерос. науч.-практ. конф. – Ч 1. / Новочеркасск. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: НГТУ, 1998. – С. 36-37.
4. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М., 1978. – 166 с.
5. Кирпиченкова В.Я. Методика количественной оценки результатов учебной деятельности студентов // Проблемы создания автоматизированных обучающих и тестирующих систем: Сб. науч. тр. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2001. – С. 36-44.
6. Нейман Ю.М., Хлебников В.А. Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. – М., 2000. – 278 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Сербиновский Б.Ю. Два подхода к анализу проблем ценообразования и выбору ценовых решений	4
Колбачев Е.Б. Эконометрические проблемы диагностики производственных систем	6
Надтока И.И., Кравченко О.А. Разработка системы моделей оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия	9
Терновский О.А. Подходы к определению экономической эффективности информационно-коммуникационных технологий, применяемых в образовании	16
Сербиновский Б.Ю., Цветков Р.И. Обеспечение экономической безопасности региональной экономики методами самозанятости	19
Терновский О.А. Информационно-коммуникационные технологии, применяемые в образовании	21
Сербиновский Б.Ю., Духнов И.Н. Обеспечение экономической безопасности микроэкономической системы: динамичные и статичные ассоциативные структуры производственных комплексов	24
Надтока И.И., Кравченко О.А. Стохастическая линейаризация в задаче оптимизации мощности источника питания угледобывающего предприятия	26
Арженовский С.В., Кравцова Т.Г. Макроэкономические взаимосвязи промышленного производства и безработицы: эконометрический анализ временных рядов	37
Канивец П.И., Руденко А.Д., Канивец Т.В. Статистические оценки качества целевой подготовки конкурентоспособных специалистов	47

Научное издание

**Теория, методы и средства измерений,
контроля и диагностики**

Материалы III Международной научно-практической конференции
Часть 4

Редактор: А.С. Лобова
Компьютерная верстка: М.К. Аверьянова

ИД № 05240, 02.07.2001 г. Подписано в печать 10.10.2002 г.
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл. печ. л. 3,12. Уч.-изд. л. 2,71. Тираж 100 экз. Заказ 47-718.

ООО Научно-производственное объединение «ТЕМП»
346430, г. Новочеркасск, сп. Ермака, 44.

Центр оперативной полиграфии
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222